This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Die fünfmalige Lohnerhöhung für Buchdrucker und Buchbinder allein im letzten halben Jahre die gleichzeitige weitere Preissteigerung aller Materialien zwingt mich zu einer Erhöhung des Grundpreises der Sammlung, und zwar für die broschierte Einbandausführung von M. 1.90 auf M. 2.15.

Um die Bändchen auch zu einem billigeren Preise bei geringeren Ansprüchen an die Ausführung des Einbandes zugänglich zu machen, liefere ich ferner zu dem Grundpreis von **M. 1.75 einen Kriegseinband** (mit fester Buchheftung und Kartonumschlag). — Zu diesen Grundpreisen treten zum Ausgleich der ebenfalls beträchtlich gestiegenen und sich noch steigernden allgemeinen Unkosten des Verlages und der Buchhändler **Teuerungszuschläge** hinzu.

Leipzig, 1. Oktober 1919 **B. G. Teubner**

THE GIFT OF
PROF. ALEXANDER ZIWET

Teuerungszuschläge 30% einschließl. 10% Zuschlag der Buchhandlung

B. G. Teubner

TK
1001
.K77
1919

Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50

Bisher sind erschienen

zur Technik und mechanischen Industrie:

Geschichte der Technik.

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht über die Wirkungen der Naturwissenschaft und Technik auf das gesamte Kulturleben. Von weil. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abbildungen. (Bd. 23.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Geh. Reg.-Rat M. Geitel. Mit 32 Abbildungen. (Bd. 28.)

Mechanik.

*Mechanik. Von Prof. Dr. Hamel. I. Grundbegriffe der Mechanik. II. Mechanik der festen Körper. III. Mechanik der flüssigen und luftförmigen Körper. (Bd. 684/686.)

Aufgaben aus der technischen Mechanik. Für den Schul- und Selbstunterricht. Von Prof. A. Schmitt. I. Bewegungslehre. Statik. 156 Aufgaben u. Lösungen mit zahlreichen Fig. im Text. II. Dynamik. 140 Aufgaben u. Lösungen mit zahlreichen Figuren im Text. (Bd. 558/559.)

Statik. Mit Einschluß der Festigkeitslehre. Von Baugewerkschuldirektor Reg.-Baumeister A. Schau. Mit 149 Fig. (Bd. 497.)

Einführung in die technische Wärmelehre (Thermodynamik). Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 40 Abb. im Text. (Bd. 516.)

Praktische Thermodynamik. Aufgaben und Beispiele zur technischen Wärmelehre. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. Mit 40 Abb. im Text u. 3 Tafeln. (Bd. 596.)

Das Perpetuum mobile. Von Dr. Fr. Schak. Mit 30 Abb. (Bd. 462.)

Bergbau, Hüttenwesen und mechanische Technologie.

Unsere Kohlen. Von Bergassessor P. Kukuk. Mit 60 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 396.)

Die Metalle. Von Prof. Dr. K. Scheid. 3. Aufl. Mit 11 Abb. (Bd. 29.)

Das Eisenhüttenwesen. Von weil. Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 5. Aufl. von Bergassessor F. W. Wedding. Mit Fig. (Bd. 20.)

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Professor R. Vater. 2. Aufl. Mit 175 Abbildungen. (Bd. 301.)

Hebezeuge. Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasförmiger Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 67 Abb. im Text. (Bd. 196.)

Das Holz, seine Bearbeitung u. seine Verwendung. Von J. Großmann, Inspektor der Lehrwerkstätten für Holzbearbeitung in München. Mit 39 Originalabb. im Text. (Bd. 473.)

Die Spinnerei. Von Direktor Prof. M. Lehmann. Mit 35 Abbildungen. (Bd. 338.)

Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit 45 Abbildungen. (Bd. 311.)

Maschinenlehre.

Industrielle Feuerungsanlagen und Dampfkessel. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 88 Abbildungen. (Bd. 348.)

Die Dampfmaschine. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bde. I. Bd.: Wirkungsweise des Dampfes in Kessel und Maschine. 4. Aufl. Mit 97 Abb. II. Bd.: Ihre Gestaltung und ihre Verwendung. 2. Aufl. Mit 105 Abb. (Bd. 393/394.)

Die neueren Wärmekraftmaschinen. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bände. I. Bd.: Einführung in die Theorie und den Bau der Gasmaschinen. 5. Aufl. M. 42 Abb. (Bd. 21.) II. Bd.: Gaserzeuger, Großgasmaschinen, Gas- u. Dampfturbinen. 4. Auflage. Mit 43 Abbildungen. (Bd. 86.)

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Ihering. 2. Aufl. Mit 57 Abb. (Bd. 228.)

Landwirtschaftliche Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit zahlreichen Abbildungen. 2. Auflage. (Bd. 316.)

Jedes Bändchen geheftet M. 1.20, gebunden M. 1.50

Elektrotechnik.

Grundlagen d. Elektrotechnik. V. Obering. A. Rotth. 2. Aufl. M. 74 Abb. (Bd. 391.)
Die elektrische Kraftübertragung. Von Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)
Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. V. Telegr.-Insp. H. Brick. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)
Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Oberpost-Insp. H. Brick. 2. Aufl. Mit 65 Abb. (Bd. 235.)
Das Telegraphen- und Fernsprechwesen. 2. Aufl. Von Oberpostrat Otto Sieblist. Mit Fig. (Bd. 163.)
Die Funkentelegraphie. Von Telegr.-Insp. H. Thurn. 4. Aufl. Mit 51 Abbildungen. 17.—22. Tausend. (Bd. 167.)

Hausbau und -einrichtung.

Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. 2. Aufl. Mit Abbildungen und 38 Skizzen im Text sowie 8 Rechnungsbeispielen. (Bd. 275.)
*Die Bauteile des Hauses und ihre Gestaltung. Von Architekt K. Erbs. (Bd. 711.)
Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. C. Maher. Mit 40 Abbild. (Bd. 241.)
Das moderne Beleuchtungswesen. Von Ing. Dr. H. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 433.)
*Das Klempner- und Installateurgewerbe. Von Dr. O. Kallenberg. (Bd. 615.)

Verkehrstechnik.

Das Eisenbahnwesen. Von Eisenbahnbau- und Betriebsinspektor a. D. Dr.-Ing. E. Biedermann. 2. Aufl. Mit 56 Abbildungen. (Bd. 144.)
Die Klein- und Straßenbahnen. V. Oberlehrer A. Liebmann. M. 85 Abb. (Bd. 322.)
Das Automobil. Eine Einführung in den Bau des heutigen Personen-Kraftwagens. Von Oberingenieur und Automobil-Prüfungs-Kommissär bei der k. k. n.-ö. Statthalterei K. Blau. 3., überarbeitete Auflage. Mit 98 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)
Die Luftfahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. A. Nimführ. 3. Auflage von Dr. F. Huth. Mit 60 Abbildungen. (Bd. 300.)
Nautik. Von Direktor Dr. J. Möller. Mit 58 Abbildungen. (Bd. 255.)

Kriegstechnik.

Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik. Von Major R. Weiß. Mit 69 Abbildungen. (Bd. 364.)
Unsere Kriegsschiffe. Ihre Entstehung und Verwendung. Von weil. Geh. Marinebaurat a. D. E. Krieger. 2. Aufl. von Marinebaurat Friedr. Schürer. Mit 62 Abb. (Bd. 389.)

Graphische und Fein-Industrie.

Wie ein Buch entsteht. Von Professor R. W. Unger. 4. Aufl. Mit 7 Tafeln und 26 Abbildungen im Text. (Bd. 175.)
Die Schmucksteine und die Schmuckstein-Industrie. Von Dr. A. Eppler. Mit 64 Abbildungen. (Bd. 376.)
Die Uhr. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. Von Prof. Dr.-Ing. H. Bock. 2., umgearbeitete Auflage. Mit 55 Abbildungen im Text. (Bd. 216.)
Die Rechenmaschinen und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 49 Abbildungen. (Bd. 490.)

Zeichnen.

Der Weg zur Zeichenkunst. Von Dr. E. Weber. 2. Aufl. Mit 81 Abbildungen und 1 farbigen Tafel. (Bd. 430.)
Geometrisches Zeichnen. Von akad. Zeichenlehrer A. Schudeisky. Mit Fig. (Bd. 568.)
Projektionslehre. Die rechtwinklige Parallelprojektion und ihre Anwendung auf die Darstellung technischer Gebilde nebst Anhang über die schiefwinklige Parallelprojektion in kurzer leichtfaßlicher Darstellung für Selbstunterricht und Schulgebrauch. Von akad. Zeichenlehrer A. Schudeisky. Mit 208 Figuren im Text. (Bd. 564.)
Grundzüge der Perspektive nebst Anwendungen. V. Prof. Dr. K. Doehlemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
Maße und Messen. Von Dr. W. Block. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)

Die mit * bezeichneten und weitere Bände befinden sich in Vorbereitung.

5377 3.9

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen

424. Bändchen

Elektrische Kraftübertragung

Von

Paul Köhn
Ingenieur

Zweite Auflage

Mit 193 Abbildungen
im Text

Verlag und Druck von B. G. Teubner in Leipzig und Berlin 1919

Prof. Alex. Ziwet
gf.
5-8-1923

Schutzformel für die Vereinigten Staaten von Amerika:
Copyright 1919 by B. G. Teubner in Leipzig.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Trotz der Kriegszeit ist schon nach wenigen Jahren eine neue Auflage erforderlich geworden. Dieser Umstand läßt mich erhoffen, daß das Bändchen seinen Zweck erfüllt, d. h. daß es allen denen, die sich in knapper, gemeinverständlicher Form über die wissenschaftlichen Grundlagen und die technischen Mittel zur Erzeugung, Fortleitung und Umwandlung des elektrischen Stromes unterrichten wollen, die gewünschte Auskunft gibt. Die gesamte Anordnung des Stoffes ist deshalb beibehalten worden.

Ich danke allen denen, die dem Bändchen Worte freundlicher Anerkennung gewidmet, besonders aber auch denen, die mich auf kleine Mängel, Ungenauigkeiten des Ausdrucks usw. aufmerksam gemacht haben.

Der dem Bändchen gesteckte äußere Rahmen ermöglicht es nicht, alle bei der elektrischen Kraftübertragung in Frage kommenden Einzelheiten mit der gewünschten Ausführlichkeit zu behandeln. Es möge deshalb auf die besonderen Bändchen der gleichen Sammlung: „Grundlagen der Elektrotechnik" (Bd. 391), „Elektrische Maschinen" (Bd. 713), „Drähte und Kabel" (Bd. 285), „Elektrische Licht- und Kraftanlagen und ihre Instandsetzung" (Bd. 650), „Dampfmaschinen" (Bd. 393, 394) und „Wärmekraftmaschinen" (Bd. 21, 86) verwiesen werden.

Leipzig, im März 1919.

Paul Köhn.

424096

Inhalt.

Seite

Einleitung 6

Wesen der Kraftübertragung S. 6. — Mittel der Kraftübertragung S. 6. — a) Feste Körper S. 7. — b) Flüssige Körper S. 7. — c) Gasförmige Körper S. 7. — d) Elektrischer Strom S. 8. — Vorzüge des Elektromotors: 1. Der einfache Aufbau S. 9. — 2. Der geringe Raumbedarf und das geringe Gewicht S. 9. — 3. Der einfache und zuverlässige Anlauf S. 10. — 4. Der gute Wirkungsgrad S. 10. — 5. Die Möglichkeit der Ausführung in jeder gewünschten Größe S. 10. — 6. Die leichte Bedienung und Instandhaltung S. 10. — 7. Die leichte Zuführung des elektrischen Stroms zum Motor S. 10.

Grundlagen der Stromerzeugung 11

Magnetismus S. 11. — Elektrischer Strom S. 13. — Messung des elektrischen Stromes. Absolute Maßeinheiten: 1. Länge, 2. Masse, 3. Zeit, 4. Geschwindigkeit, 5. Beschleunigung, 6. Kraft, 7. Arbeit (Energie), 8. Leistung (Effekt); die mechanische Leistung S. 15—17. — Praktische elektrische Maßeinheiten: Ohm, Ampere, Volt, Amperestunde, Watt, Wattstunde, Farad, Henry S. 17—18. — Elektrischer Widerstand, Temperaturkoeffizient S. 19. — Meßinstrumente: Hitzdraht- und elektromagnetische Instrumente, Wheatstonesche Brücke, Elektrizitätszähler S. 20—23.

Dynamomaschinen und Elektromotoren 23

Gleichstrommaschine, Stromerzeuger für Gleichstrom S. 23. — Ringanker, Trommelanker S. 24. — Hauptstrommaschine S. 27. — Nebenschlußmaschine S. 27. — Verbundmaschine (Compound-, Doppelschlußmaschine) S. 28. — Ankerrückwirkung S. 28. — Stromabgeber S. 30. — Wirkungsgrad der Dynamomaschine S. 31. — Parallelschaltung von Gleichstromdynamos S. 33. — Wechselstrom-Dynamo, -Maschine, -Erzeuger, -Generator, Alternator: Periode, Polwechsel, Phasenverschiebung, Leistungsfaktor S. 34—37. — Zwei- und Dreiphasenwechselstrom-(Drehstrom-)maschinen: Sternschaltung, Dreiecksschaltung, Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen S. 37—43. — Gleichstrommotoren mit Hauptstrom-, Nebenschluß- und Verbundwicklung: Hauptstrommotor, Nebenschlußmotor, Verbundmotor

Seite

S. 43—47. — Wechselstrom- und Drehstrommotoren: Synchronmotor, Drehfeld, Asynchrondrehstrommotor, Einphasenasynchronmotor, Einphasenkollektormotor, Drehstromkollektormmotor S. 47—53.

Transformatoren und Umformer 53

Transformatoren für Wechsel- und Drehstrom: Kerntransformator, Manteltransformator, Transformator mit Luft- und Ölkühlung S. 53—56. — Umformer: Motorgenerator, Einankerumformer, Kaskadenumformer S. 56—59.

Akkumulatoren 59

Stromverteilung, Leitungen und Apparate 65

Gleichstrom: Leitungsberechnung, Zweileiter- und Dreileitersystem S. 65—70. — Wechsel- und Drehstrom S. 70—71. — Ausführung der Leitungen: Freileitungen, Unterirdische Leitungen, Innenleitungen, Vorschriften für elektrische Leitungen S. 71—76. — Schalter S. 77. — Sicherungen S. 78. — Schutzapparate gegen atmosphärische Entladungen und Überspannungen S. 79. — Anlaßapparate für Motoren, Anlasser: Anlasser für Gleichstrommotoren: Anlasser für Hauptstrom- und Nebenschlußregulierung, Anlasser mit Luft- und Ölkühlung, Flüssigkeitsanlasser, Schaltwalzenanlasser, Selbsttätige Anlasser, Umkehranlasser S. 81—88. — Anlasser für Drehstrommotoren S. 88.

Kraftübertragung vom Motor zur Arbeitsmaschine 89

Unmittelbare Kupplung, Riemenantrieb, Seilantrieb, Kettenantrieb, Zahnräderantrieb, Schneckenantrieb, Reibungsantrieb S. 89—93.

Stromerzeugungsanlagen, Kraftwerke 93

Dampfmaschine, Dampfturbine, Gasmotor, Dieselmotor, Wasserkraftmaschinen, Überlandzentralen S. 93—98. — Stromerzeugungskosten: a) Unmittelbare Betriebsausgaben S. 99. — b) Mittelbare Betriebsausgaben S. 99. — Stromlieferungsbedingungen S. 100.

Anwendung des Elektromotors 101

Bergbau S. 101—108, Hüttenwesen S. 108, Maschinenfabriken und Eisengießereien S. 108, Textilindustrie S. 109, Papierindustrie S. 112, Graphische Industrie S. 114. — Straßenbahnen: Stromarten: Gleichstrom, Drehstrom, Einphasiger Wechselstrom S. 115; Stromzuführung S. 118; Motoren: Gleichstrommotoren, Drehstrommotoren, Einphasen-(Kollektor-)motoren S. 119—122; Stromverbrauch S. 122. — Landwirtschaft S. 123.

Einleitung.

Wesen der Kraftübertragung. Der allgemein übliche Ausdruck **„Kraftübertragung"** ist technisch unrichtig. Bei dem als Kraftübertragung bezeichneten Vorgange handelt es sich streng genommen nicht um die Übertragung der Kraft, sondern um die Übertragung des Produktes aus Kraft und Weg. In der Physik und Technik heißt dieses Produkt: Arbeit (Energie). Es müßte also streng genommen **„Arbeitsübertragung"** heißen. Da sich aber der Ausdruck Kraftübertragung allgemein eingebürgert hat, soll er auch hier beibehalten werden.

In diesem Sinne verstehen wir unter Kraftübertragung (Kraftransmission, Kraftleitung, Kraftverteilung) alle diejenigen Hilfsmittel, welche zur Fortleitung von Arbeit oder Energie von der Erzeugungs- bis zur Verbrauchsstelle erforderlich sind.

Solange die in einer Talsperre aufgespeicherte Wassermenge — mag sie auch viele Millionen Kubikmeter betragen — sich nicht bewegt, stellt sie eine Kraft dar; technisch verwertbare Arbeit leistet sie erst, wenn das Wasser zu Tal fließt, wenn es einen Weg zurücklegt.

Der im Dampfkessel aufgespeicherte Dampf — mag er auch noch so hoch gespannt sein — ist eine Kraft. Arbeit leistet er erst, wenn er den Kolben der Dampfmaschine hin und her treibt, also einen Weg zurücklegt.

Mittel der Kraftübertragung. Zur Übertragung der Kraft dienen: a) feste Körper, b) flüssige Körper, c) gasförmige Körper, d) elektrischer Strom.

a) **Feste Körper.** Die zur Kraftübertragung verwendeten festen Körper sind: Hebel, Wellen, Rollen, Zahn-, Riemen-, Seil- und Kettenräder in Verbindung mit den zugehörigen Riemen, Seilen und Ketten; sie werden in ihrer Gesamtheit Triebwerke (Transmissionen) genannt. Die Triebwerke bildeten ursprünglich die einzigen Mittel zur Kraftübertragung und z. T. sind sie es heute noch, wenn keine erheblichen Entfernungen zwischen der Krafterzeugungs- und Kraftverbrauchsstelle liegen. Erforderlich sind die Triebwerke auch dann, wenn andere Kraftübertragungsmittel: Wasser, Gas und elektrischer Strom Verwendung

finden. Die größten Triebwerksanlagen waren die Seiltriebanlagen in Schaffhausen a. Rh., wo 800 PS auf 500 m, und bei Bellegarde a. d. Rhone, wo 3000 PS auf 900 m fortgeleitet wurden. Bei Verwendung dieser festen Körper als Kraftübertragungsmittel auf größere Entfernungen werden die Anlagekosten und die Kraftverluste sehr hoch; es ist meistens nicht einmal möglich, getrennte Fabrikgebäude auf einem größeren Grundstück vermittels Transmissionen in wirtschaftlicher Weise von einer Erzeugungsstelle aus mit Kraft zu versorgen.

b) **Flüssige Körper.** Hydraulische Kraftübertragung. Dient das Wasser zur Kraftübertragung, so muß es zunächst auf einen Druck von 50 Atmosphären und mehr gepreßt und durch starkwandige Rohrleitungen den Motoren zugeführt werden. Zum Ausgleich des meist stark schwankenden Verbrauches sind Sammler (hydraulische Akkumulatoren) erforderlich. Derartige Einrichtungen sind teuer und der Gefahr des Zerfrierens ausgesetzt. Bei geringer Beanspruchung haben sie einen schlechten Wirkungsgrad; z. B. braucht ein Aufzug, wenn er leer nach oben fährt, genau die gleiche Wassermenge, als wenn er mit 2000 oder 3000 kg belastet ist. Bewährt haben sich diese Einrichtungen nur zum Betriebe von Pressen, Aufzügen, Kranen, d. h. überall da, wo plötzlich große Kräfte beansprucht werden.

c) **Gasförmige Körper.** Druckluft = (pneumatische) Kraftübertragung. Um die Luft als Kraftübertragungsmittel benützen zu können, muß sie stark zusammengepreßt (komprimiert) werden. Hierbei erwärmt sie sich so stark, daß sie künstlich gekühlt werden muß. Bei der Ausdehnung (Expansion) tritt dagegen eine so große Abkühlung ein, daß die Ventile und Hähne einfrieren, wenn die Luft nicht genügend trocken ist oder an der Verwendungsstelle nicht vorgewärmt wird. Sowohl die Erwärmung als auch die Abkühlung machen den Betrieb umständlich; die Vorwärmung der Luft ist stellenweise überhaupt nicht möglich. Das Anwendungsgebiet der Druckluftübertragung beschränkt sich deshalb auf die Fälle: a) wo man auf die Gewinnung frischer, kalter Luft besonderen Wert legt, wie z. B. in Bergwerken, bei Tunnelbauten und Kühlhallen, oder b) wo die Verwendung der Preßluft besondere Vorteile bietet, wie beim Betrieb von Rohrpostanlagen, Gesteinsbohrmaschinen, Preßlufthämmern und -meißeln, Druckluftbremsen usw.

Wasserdampf. Der gespannte Wasserdampf ist bisher am meisten zum Zwecke der Kraftübertragung in den Fällen verwendet worden, wo aus räumlichen Gründen die Riemen- und Seiltriebe nicht

benutzt werden konnten, oder wo es sich um größere Kräfte und nicht zu weite Entfernungen handelte. Lange Dampfrohrleitungen verursachen einen beträchtlichen Wärme- und Druckverlust, sie bilden auch an einzelnen Stellen, z. B. in den Bergwerksschächten, eine erhebliche Gefahr für die Arbeiter. Für kleinere Leistungen, z. B. unter 100 PS, werden die Kosten der Dampfmaschine sehr hoch, wenn sie zum Zwecke der größeren Wirtschaftlichkeit mit zweifacher Expansion und Kondensation ausgerüstet wird. Es kommt deshalb der gespannte Wasserdampf heute nur noch dort für Kraftübertragungszwecke in Frage, wo der entspannte Abdampf für Warmwasserbereitung, Heizungs- und Trockenzwecke ausgenutzt werden kann.

Kohlenwasserstoffgas (Leuchtgas, Generatorgas) ist ein recht gutes Mittel für die Fortleitung und Verteilung der Kraft, leider sind aber die Gasmotoren mit erheblichen Mängeln behaftet.[1]) Die großen Hoffnungen, die man einst auf diese Art der Erzeugung und Verteilung der Kraft gesetzt hatte, sind deshalb nur zum geringsten Teil in Erfüllung gegangen.

d) **Elektrischer Strom.** Die Nachteile der elektrischen Übertragung sind verschwindend gering gegenüber denjenigen, die sich bei der Verwendung von Wasser und Gas zeigen. Sie bestehen nur in den Verlusten bei der Umwandlung und Fortleitung der Energie und in den Gefahren, welche die Hochspannungsleitungen, besonders wenn sie frei verlegt sind, mit sich bringen.

Als Vorteile der elektrischen Kraftübertragung sind dagegen zu nennen: Der technische Wirkungsgrad ist gut, selbst bei geringer Belastung, die Anlagekosten halten sich in angemessenen Grenzen, jede mechanische Arbeit kann in elektrische umgewandelt, in dieser Form leicht fortgeleitet, dann in mechanische Arbeit zurückverwandelt und so wirtschaftlich nutzbar gemacht werden, die Übertragung auf Entfernungen von 100 km und mehr bietet keine Schwierigkeiten, die Leitungen und Motoren passen sich allen räumlichen Verhältnissen mit Leichtigkeit an.

Durch die elektrische Kraftübertragung ist es erst möglich geworden, viele bisher noch brach liegende Wasserkräfte mit Leistungen von zusammen vielen Millionen Pferdestärken, wie sie die Natur in den von hohen Gebirgszügen durchschnittenen Ländern, z. B. Schweiz, Italien,

1) Sie laufen nicht von selbst an, bei geringer Belastung arbeiten sie unwirtschaftlich, auch erfordert ihre Bedienung und Instandhaltung große Sorgfalt

Frankreich, Norwegen usw. darbietet, nutzbar zu machen. Die meisten dieser Wasserkräfte mußten bisher unausgenutzt bleiben, weil ihre örtliche Lage den Aufbau großer Fabrikanlagen mit den erforderlichen Einrichtungen für die An- und Abfuhr der Materialien und die Ansiedlung einer größeren Zahl von Arbeiterfamilien überhaupt nicht oder nur unter sehr erschwerenden Umständen zuließ. Heute sind diese Hindernisse beseitigt; alle Wasserkräfte sind verwertbar. Die von den Wasserturbinen erzeugte mechanische Energie wird in elektrische umgewandelt und Landgebiete von mehr als 100 km Länge und Breite werden von einer einzigen Stelle aus mit Kraft und Licht versorgt. Ist eine Hilfskraftanlage notwendig, weil die Wasserkraft in einzelnen Jahreszeiten für die Versorgung nicht ausreicht, so wird die Dampfkraftanlage dort errichtet, wo die Beschaffung des Brennstoffes mit den geringsten Kosten möglich ist. Der Vorteil, welcher in dieser Art der Kraft- und Lichtversorgung liegt, ist deshalb für die vorgenannten Länder so besonders groß, weil sie die Kohlen für ihre Fabrikanlagen und Eisenbahnen mit bedeutenden Kosten aus weit entfernten Gebieten beziehen müssen.

Die elektrische Kraftübertragungsanlage besteht aus folgenden Teilen:

1. dem Stromerzeuger (Dynamomaschine, Generator), einer Maschine, welche geeignet ist, die mechanische Arbeit in elektrische umzuwandeln;

2. der meist aus gutleitendem Metall (Kupfer, Aluminium) bestehenden Leitung, welche die erzeugte elektrische Arbeit an den Ort ihrer Verwendung führt;

3. dem Elektromotor, einer Maschine, welche die empfangene elektrische Arbeit wieder in mechanische umwandelt.

Als Vorzüge des Elektromotors sind zu nennen:

1. Der einfache Aufbau. Der bewegte Teil des Motors besteht aus einer Achse, die in zwei, höchstens drei Lagern läuft und bei Gleichstrom den Anker und den Stromabgeber, bei Drehstrom den Läufer und die Schleifringe trägt. Der Motor hat weder Kolben noch Stopfbüchsen, weder Gelenke noch Führungen. Die Lagerschmierung ist außerordentlich einfach; ein auf der Welle laufender Ring taucht unten in den Ölbehälter und führt den Lagerschalen selbsttätig das Öl zu (Ringschmierung).

2. Der geringe Raumbedarf und das geringe Gewicht. Der Motor ist für die gleiche Leistung wesentlich kleiner und leichter als

Dampfmaschine und Gasmotor, und da er keinerlei hin- und hergehende Teile besitzt, stellt er an seine Fundamentierung die denkbar geringsten Anforderungen. Seine Aufstellung ist an jeder beliebigen Stelle möglich. Er verursacht weder nennenswertes Geräusch noch Erschütterungen oder ähnliche Belästigungen.

3. Der einfache und zuverlässige Anlauf. Der Anlauf des Elektromotors erfolgt in jeder Lage und bei jeder Belastung. Die Geschwindigkeit des Motors ist einerseits fast gleichbleibend, unabhängig von der geforderten Leistung, andererseits kann sie auch in weiten Grenzen willkürlich geändert werden. Die Bewegung einer kleinen Kurbel genügt zum Anlassen und Abstellen selbst der größten Motoren; diese können also während jeder Arbeitspause ausgeschaltet und es kann jegliche Leerlaufsarbeit vermieden werden. Dieser Vorteil kommt hauptsächlich zur Geltung, wenn jede Arbeitsmaschine durch einen besonderen Motor angetrieben wird (Einzelantrieb).

4. Der gute Wirkungsgrad. Das Verhältnis der zugeführten elektrischen Energie zu der geleisteten mechanischen Arbeit ist sehr günstig, und zwar nicht nur bei voller Leistung, sondern auch bei geringer Beanspruchung. Von Vollast bis zur Halblast entspricht die Stromaufnahme nahezu der geleisteten Arbeit, ein Vorteil, den keine andere Kraftmaschine in diesem Maße bietet.

5. Die Möglichkeit der Ausführung in jeder gewünschten Größe. Elektromotoren werden von $^1/_{30}$ bis zu mehreren tausend Pferdestärken ausgeführt. Der Preis auch der kleinsten Motoren ist im Verhältnis zu ihrer Leistung niedrig.

6. Die leichte Bedienung und Instandhaltung. Jeder zuverlässige Arbeiter kann die Reinigung des Motors und das Nachfüllen des Schmieröles besorgen.

7. Die leichte Zuführung des elektrischen Stromes zum Motor. Sie erfolgt durch verhältnismäßig dünne, biegsame Drähte oder Kabel, die beliebig an den Wänden und Decken befestigt im Erdboden verlegt oder im Freien gespannt werden können. Die Leitungen passen sich den örtlichen Verhältnissen in jeder Weise an und der Leitungsverlust ist meistens unbedeutend.

Grundlagen der Stromerzeugung.

Zum besseren Verständnis der Grundlagen, auf denen die elektrische Kraftübertragung beruht, ist es notwendig, auf die Erzeugung des elektrischen Stromes, d. h. auf die Umwandlung mechanischer Arbeit in elektrische, und auf die Umwandlung elektrischer Arbeit in mechanische einzugehen.[1])

Magnetismus.

Die Eigenschaft des Magneteisensteins (Fe_3O_4), kleine Eisenstückchen anzuziehen, ist bekannt, ebenso die Möglichkeit, diese Eigenschaften durch Bestreichen auf einen Stahlstab zu übertragen. Man sagt: „der Stahlstab wird magnetisch", und man spricht je nach der Form des Stabes von: Stab-, Hufeisen-, Nadel-, oder Glockenmagneten.

Hängt man einen Stahlmagneten freischwebend in der Luft auf, so stellt er sich ungefähr in der Nord Süd-Richtung der Erde ein; man spricht deshalb von seinem Nordpol und seinem Südpol. Durch Versuche kann man sich leicht davon überzeugen, daß sich die magnetische Wirkung hauptsächlich an den Enden, den Polen des Stabes, äußert, während die Mitte unmagnetisch (indifferent) bleibt.

An frei schwebenden Magneten kann man beobachten, daß gleichnamige Pole sich abstoßen, ungleichnamige sich anziehen. Den ganzen Bereich, innerhalb dessen ein Magnet seine Wirkung äußert, nennt man „das magnetische Feld". Streut man auf eine Glasplatte oder auf ein Kartenblatt Eisenfeilspäne und legt darunter einen Magneten, so ordnen sich die Eisenteilchen zu eigenartigen Kurven, und man stellt sich vor, daß magnetische Kraftlinien in der Richtung dieser Kurven von einem Pol zum andern laufen. In der Nähe der Magnetpole ist, wie die Eisenfeilspäne erkennnen lassen, die Zahl der Linien größer als in weiterer Entfernung; man sagt: das Feld ist stärker, oder das Feld ist schwächer.

Die Zahl der Kraftlinien auf einem Quadratzentimeter nennt man die Kraftliniendichte. Die Feldstärke wird mit dem Buchstaben *H* zeichnet.

Maßgebend für die Feldstärke, also auch für die Zahl der ausgehenden Kraftlinien, ist die magnetomotorische Kraft. Diese ist bei

1) S. A. Rotth, Grundlagen der Elektrotechnik (ANuG Bd. 391).

einem Stahlmagneten abhängig von dessen Größe und von der Zahl seiner Bestreichungen, bei einem Elektromagneten von der Zahl der Drahtwindungen und der in diesen fließenden Stromstärke. Der Widerstand, welchen die Luft dem Ausströmen der Kraftlinien entgegensetzt, wird als 1 bezeichnet; der spezifische Widerstand des Eisens ist wesentlich geringer als der der Luft. Er ist $\frac{1}{\mu}$, und der reziproke Wert davon, also μ, wird die Leitfähigkeit (Permeabilität) des Eisens genannt. Die Leitfähigkeit hängt nicht nur von der Art des Eisens, sondern auch von der Kraftliniendichte, d. h. von der Größe H ab. $\frac{B}{\mu}$ ist die Kraftlinienzahl, also ist B (magnetische Induktion) $= \mu \cdot H$.

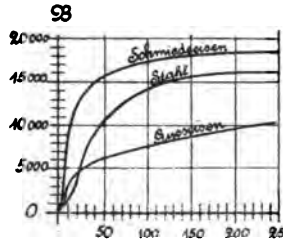


Abb. 1.

In bezug auf die Aufnahmefähigkeit von Kraftlinien steht ausgeglühtes Schmiedeeisen an erster Stelle, weniger günstig ist Stahl und am ungünstigsten ist Gußeisen, wie die obenstehende Abb. 1 zeigt.

Die Stärken des magnetischen Feldes sind als Abszissen, die in den verschiedenen Eisensorten hierdurch erzeugte Induktion als Ordinaten angegeben. Für weiches ausgeglühtes Schmiedeeisen gibt die nachstehende Tabelle die Zahlen genau an:

B	H	μ	B	H	μ
5000	1,67	3000	14000	17,00	823
9000	4,00	2250	15000	28,50	526
10000	5,00	2000	16000	52,00	308
11000	6,52	1692	17000	105,00	161
12000	8,50	1412	18000	200,00	90
13000	12,00	1083	19000	350,00	54

Während also bei geringer Beanspruchung (Sättigung) der magnetische Widerstand des Eisens sehr gering ist, z. B. bei $B = 5000$ gleich $\frac{1}{3000}$ des Luftwiderstandes, ist er bei der dreifachen Beanspruchung, d. h. bei $B = 15000$, bereits auf $\frac{1}{526}$, also auf beinahe das Sechsfache angewachsen. Dieser Umstand ist für den Bau von Dynamomaschinen sehr wichtig.

Elektrischer Strom.

Die Erzeugung des elektrischen Stromes durch Eintauchen zweier verschiedener Metallplatten in verdünnte Schwefelsäure darf als bekannt vorausgesetzt werden. Hier sollen nur die Wechselbeziehungen zwischen Magnetismus und elektrischem Strom besprochen werden. Bringt man einen vom Strom durchflossenen Leiter in die Nähe der auf ein Kartenblatt gestreuten Eisenfeilspäne, so zeigt sich die gleiche Erscheinung, als ob man einen Stahlmagneten in die Nähe gebracht hätte: der elektrische Strom ruft ebenfalls ein magnetisches Feld hervor. Wird der Leiter spiralförmig aufgewunden, so wird die magnetische Wirkung des Stromes erheblich verstärkt. Eine solche Spirale wird Solenoid genannt, und ihre magnetische Wirkung ist so stark, daß ein in die Nähe der Spulenöffnung gebrachter Eisenkern in die Spule hineingezogen wird. Die Größe der Anziehungskraft ist abhängig von der Größe der Stromstärke (Ampere)[1]) und der Zahl der Windungen, also von der Zahl der Amperewindungen, z. B. 5 Ampere und 100 Windungen sind 500 Amperewindungen.

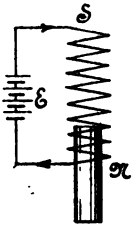


Abb. 2.

Für die Stromrichtungen und für die Bildung der Pole gilt die sogenannte Linke-Hand-Regel. Denkt man sich mit dem Strome schwimmend und das Gesicht dem zu magnetisierenden Körper zugewendet, so ist der Nordpol immer zur linken Hand; sieht man auf den Nordpol, so fließt der Strom entgegengesetzt der Richtung des Uhrzeigers (Abb. 2).

Umschließt die vom Strom durchflossene Spule (Solenoid) einen Eisenkern, so heißt diese Vorrichtung Elektromagnet. Die magnetische Wirkung des Elektromagneten ist wesentlich stärker als die des Solenoides allein. Es zeigt sich aber die Eigentümlichkeit, daß es eine gewisse Zeit dauert, bis diese Wirkung im Eisen ihren Höchstwert erreicht, und daß Sekunden, bei großen Abmessungen sogar Minuten, nach dem Ausschalten des Stromes vergehen, bis die magnetische Wirkung wieder zur Ruhe kommt. Dieses Zurückbleiben des Magnetismus wird als manenz (remanenter Magnetismus) bezeichnet.

Bringt man die Drahtwindungen des Elektromagneten mit der Stromle in Verbindung und verstärkt allmählich den Strom, dann steigt

[1]) Siehe S. 17 Fußnote 2.

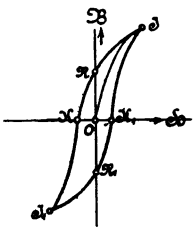


Abb. 3.

die magnetische Wirkung (Induktion) von O (dem Koordinatenmittelpunkt) bis J an (Abb. 3). Schaltet man den Strom wieder aus, dann fällt zwar auch die Induktion, aber sie schwindet nicht ganz. Infolge der Remanenz des Eisens fällt sie nur bis R. Kehrt man nun die Stromrichtung um, so ist eine gewisse Größe von $H = OK$ notwendig, um die Induktion ganz verschwinden zu lassen. Verstärkt man den Strom, so wächst die Induktion bis J_1. Schaltet man den Strom wieder aus, so behält die Induktion die Größe OR_1 usw. Das Eisen setzt der Magnetisierung einen gewissen Widerstand (Koerzitivkraft) entgegen, und die zu dessen Überwindung erforderliche Arbeit, die sich in der Erwärmung des Eisens äußert, nennt man Hysteresisarbeit. Diese wird um so größer, je geringer die Leitfähigkeit des Eisens ist. Das von den beiden äußeren Kurven eingeschlossene Flächenstück wird Hysteresisschleife genannt; die eingeschlossene Fläche stellt die Größe der Hysteresisarbeit dar.

Wie der elektrische Strom ein magnetisches Feld erzeugen kann, so ist es umgekehrt möglich, durch Magnetismus elektrischen Strom hervorzurufen. Wird z. B. ein kräftiger Stahlmagnet schnell in die Spule 2 (Abb. 4) hineingestoßen, dann zeigt der Ausschlag des Galvanometers G, daß in der Spule durch die Bewegung des Magneten ein elektrischer Strom erzeugt worden ist. Wird die Spule 1 vom Strom durchflossen, so erzeugt sie ein magnetisches Feld. Schiebt man nun die Spule 1 an Stelle des Stahlmagneten in die Spule 2 hinein, so entsteht in der letzteren während der Dauer der Bewegung ein Strom, dessen Richtung der Richtung in Spule 1 entgegengesetzt ist. Zieht man diese aus Spule 2 wieder heraus, so entsteht in der letzteren ein Strom, dessen Richtung gleich der Richtung in Spule 1 ist. Beläßt man die Spule 1 in Spule 2, so verschwindet der Strom. Verstärkt man in Spule 1 den Strom durch Verminderung des Reguliervorstandes R, dann entsteht in Spule 2 ein Strom von umgekehrter Richtung, schwächt man den Strom in 1, dann entsteht in 2 ein Strom von gleicher Richtung.

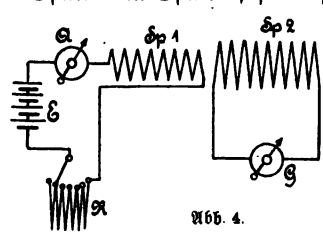


Abb. 4.

Jede Änderung des magnetischen Feldes, sei es durch Bewe-

gung, Verstärkung oder Schwächung des Stromes, erzeugt in einem in diesem Felde befindlichen Leiter eine elektrische Spannung; diese ruft, wenn der Leiter geschlossen ist, in ihm einen elektrischen Strom hervor. Dieses von Faraday[1]) entdeckte und nach ihm benannte Gesetz bildet die Grundlage des Dynamomaschinenbaues. In jedem geschlossenen Leiter, der sich im magnetischen Felde so bewegt, daß er Kraftlinien schneidet, wird elektrische Spannung erzeugt. Es ist hierbei ganz gleich, ob der Leiter, z. B. Spule 2 in Abb. 4, oder das magnetische Feld, Spule 1 in Abb. 4, oder der Stahlmagnet bewegt wird.

Messung des elektrischen Stromes.

Zur unmittelbaren Wahrnehmung des elektrischen Stromes fehlt uns der Sinn. Wir müssen zu seiner Messung seine magnetischen, chemischen und thermischen Wirkungen benutzen.

Absolute Maßeinheiten.

Die Maßeinheiten beruhen auf dem absoluten Maßsystem oder Zentimeter-Gramm-Sekunden-System, abgekürzt CGS-System. Die absoluten Einheiten stehen zu den Grundeinheiten: Länge [l], Masse [m] und Zeit [t] in einer ganz bestimmten Beziehung, und diese nennt man ihre Dimension. Da die absoluten Einheiten meist unbequem für den praktischen Gebrauch sind, hat man für technische Zwecke die sogenannten praktischen Einheiten aufgestellt, die entweder ein Vielfaches oder ein Bruchteil der absoluten Einheiten sind.

1. **Länge:** [l]. Die absolute Längeneinheit ist das Zentimeter, cm, der hundertste Teil des im „Internationalen Maß- und Gewichtsbureau" im Pavillon von Breteuil in Sèvres bei Paris aufbewahrten Normalmaßstabes, wenn dieser eine Temperatur von 0^0 hat.[2]) Dementsprechend ist die absolute Flächeneinheit das Quadratzentimeter, qcm, und die absolute Volumeneinheit das Kubikzentimeter, ccm. Die praktischen Einheiten sind mm, m, km, qm, cbm.

1) Faraday, Michael, engl. Chemiker und Physiker, geb. 22. Sept. 1791 zu Newington Butts bei London, war zuerst Buchbinder, dann Assistent von Davy, später Professor an der Royal Institution in London. Er starb am 25. August 1867 in Hampton Court. Nach ihm ist auch die Einheit der elektrischen Kapazität = Farad, Mikrofarad benannt.

2) S. W. Block, Maße und Messen (ANuG Bd. 385).

2. **Masse:** [m]. Die absolute Masseneinheit ist das Gramm, g, der tausendste Teil der Masse des im Int. Maß- u. Gew.-B. aufbewahrten Platinstückes. Es ist ungefähr soviel wie 1 ccm Wasser bei 4° C. Als praktische Einheiten werden häufig das Kilogramm, kg, = 1000 g, oder die Tonne, t, = 1000 kg, verwendet.

3. **Zeit:** [t]. Die absolute Zeiteinheit ist die Sekunde, sek, der 86 400. Teil des Tages mittlerer Sonnenzeit. Als praktische Einheiten kommen in Frage: die Minute, mn, = 60 sek, und die Stunde, st, = 60 mn = 3600 sek.

4. **Geschwindigkeit:** $v = [lt^{-1}]$. Geschwindigkeit ist der in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg; $v = \frac{l}{t}$ oder lt^{-1}. Die absolute Einheit der Geschwindigkeit besitzt ein Körper, der in einer Sekunde einen Weg von 1 cm zurücklegt, cm/sek oder $cm \cdot sek^{-1}$. Praktisch rechnet man auch mit m/sek, m/mn und km/st.

5. **Beschleunigung:** $p = [lt^{-2}]$. Beschleunigung ist die Geschwindigkeitszunahme in der Sekunde. Die absolute Einheit der Beschleunigung ist dann vorhanden, wenn die Geschwindigkeit eines Körpers sich in einer Sekunde um 1 cm/sek ändert. Daraus ergibt sich $p = cm/sek^2$ oder $cm \cdot sek^{-2}$. Ein frei fallender Körper hat am Ende der ersten Sekunde eine Geschwindigkeit von 9,81 m/sek, er fällt also mit einer Beschleunigung von 981 $cm/sek^2 = 981\ cm \cdot sek^{-2}$.

6. **Kraft:** $P = [l \cdot m \cdot t^{-2}]$. Die absolute Krafteinheit ist diejenige, die einem Körper von der Masse 1 die Beschleunigung 1 erteilt. Die Einheit wird als Dyn bezeichnet, $= cm \cdot g \cdot sek^{-2}$. Da die Schwerkraft der Erde jedem Körper eine Beschleunigung von 981 $cm \cdot sek^{-2}$ erteilt, so übt sie auf eine Grammasse eine Kraft von 981 Dynen aus. Wenn von einem Gramm die Rede ist, so muß berücksichtigt werden, ob es als unter dem Einfluß der Schwerkraft der Erde stehend zu erachten oder unabhängig von dieser ist.

7. **Arbeit, (Energie):** $A = [l^2 \cdot m \cdot t^{-2}]$. Die Arbeit ist das Produkt aus der mechanischen Kraft und dem Weg, den der Körper unter der Einwirkung der Kraft zurückgelegt hat. Die Zeit bleibt dabei unberücksichtigt. Die absolute Arbeitseinheit, also die Arbeit, welche ein Dyn verrichtet, wenn es 1 g um 1 cm verschiebt, ist das Erg. Die praktische Einheit der Arbeit ist das Joule, das 10^7fache des Erg.

8. **Leistung, (Effekt):** $A_s = [l^2 \cdot m \cdot t^{-3}]$. Leistung ist die Arbeit in einer bestimmten Zeit ausgeführt wird. Die absolute Leistu-

einheit ist das Erg/Sekunde. Die praktische Einheit ist ebenfalls das 10^7fache der absoluten Einheit, das Watt. Die elektrische Leistung wird in Watt gemessen. Die Arbeit eines Joule wird geleistet, wenn ein Watt eine Sekunde lang geleistet wird.

Die mechanische Leistung wird nach Meterkilogramm/Sekunden, mkg/sek, oder nach Pferdekräften, Pferdestärken, PS, gemessen. Die mechanische Arbeit wird nach Meterkilogramm oder Pferdekraftsekunden gemessen.

75 Meterkilogramm = 1 Pferdekraftsekunde,
1 Pferdekraft (Pferdestärke) = 75 mkg pro Sekunde (mkg/sek).

Zwischen diesen mechanischen und den elektrischen Einheiten ergeben sich folgende Beziehungen:

1 mkg/sek = 9,81 Watt, 1 mkg = 9,81 Joule,
1 PS = 736 Watt, 1 PSst = 0,736 kWst,
1 kWst (Kilowattstunde) = 1,36 PSst (Pferdekraftstunde).

Praktische elektrische Maßeinheiten.

Die gesetzlichen Bestimmungen für diese Einheiten lauten im Auszug:

§ 1. Die gesetzlichen Einheiten für elektrische Messungen sind das Ohm, das Ampere und das Volt.

§ 2. Das Ohm[1]) ist die Einheit des elektrischen Widerstandes. Es wird dargestellt durch den Widerstand einer Quecksilbersäule von der Temperatur des schmelzenden Eises, deren Länge bei durchweg gleichem, einem Quadratmillimeter gleich zu achtenden Querschnitt 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt. Das Ohm ist das 10^9fache der absoluten Einheit.

§ 3. Das Ampere[2]) ist die Einheit der elektrischen Stromstärke. Es wird dargestellt durch den unveränderlichen elektrischen Strom, welcher bei dem Durchgang durch eine wässerige Lösung von Silbernitrat in einer Sekunde 0,001118 g Silber niederschlägt. Das Ampere ist der 10. Teil der absoluten Einheit.

§ 4. Das Volt[3]) ist die Einheit der elektromotorischen Kraft. Es wird dargestellt durch die elektromotorische Kraft, welche in einem Leiter, dessen

1) Ohm, Georg Simon, Physiker, geb. den 16. März 1787 zu Erlangen, lebte in Köln, Berlin, Nürnberg, München und starb dort am 7. Juli 1845.
2) Ampère, André Marie, bedeutender französischer Physiker, geb. den Januar 1775 zu Lyon, lebte hauptsächlich in Paris und starb in Marsle am 10. Juni 1836.
3) Volta, Alessandro, Graf, geb. den 18. Februar 1745 zu Como, Erfinder Voltaschen Säule, lebte hauptsächlich in Pavia und starb am 5. März 7 in Como.

Widerstand ein Ohm beträgt, einen elektrischen Strom von einem Ampere erzeugt. 1 Volt = 1 Ampere · 1 Ohm. Das Volt ist gleich dem 10^8fachen der absoluten Einheit.

a) Die Elektrizitätsmenge, welche bei einem Ampere in einer Sekunde durch den Querschnitt der Leitung fließt, heißt eine Amperesekunde (Coulomb)[1]; die in einer Stunde hindurchfließende Elektrizitätsmenge heißt eine Amperestunde.

b) Die Leistung eines Ampere in einem Leiter von einem Volt Endspannung heißt ein Watt[2]; also 1 Watt = 1 Ampere · 1 Volt.

c) Die Arbeit eines Watt während einer Stunde heißt eine Wattstunde.

d) Die Kapazität eines Kondensators, welcher durch eine Amperesekunde auf ein Volt geladen wird, heißt ein Farad. 1 Farad ist gleich dem 10^{-9}fachen der absoluten Einheit. Da das Farad immer noch sehr groß ist, so wird als praktische Einheit das Mikrofarad = 10^{-15}fachen der absoluten Einheit benutzt.

e) Der Induktionskoeffizient eines Leiters, in welchem ein Volt durch die gleichmäßige Änderung der Stromstärke um ein Ampere in einer Sekunde induziert wird, heißt ein Henry.[3]) Ein Henry ist gleich dem 10^9fachen der absoluten Einheit.

Als Vorsilben vor den Namen einer Einheit bedeuten: Kilo = das Tausendfache, Mega (Meg) = das Millionenfache, Milli = den tausendsten Teil, Mikro (Mikr) = den millionsten Teil.

Die beste Vorstellung von den elektrischen Größen: Spannung (elektromotorische Kraft), Stromstärke und Widerstand gewinnt man, wenn man diese Größen mit den für eine Wasserkraftanlage maßgebenden Größen vergleicht. Dann entspricht die elektromotorische Kraft (Spannung) der Gefällhöhe des Wassers (Höhenunterschied zwischen dem Wasserstand im Ober- und Untergraben), die Stromstärke entspricht der sekundlich durchfließenden Wassermenge, und der elektrische Widerstand entspricht dem Reibungswiderstand, welchen das Wasser in den Kanälen,

1) Coulomb, Charles Augustin de, Ingenieur, geb. den 11. Juni 1736 zu Angoulême, Erfinder verschiedener Meßinstrumente zur Messung magnetischer und elektrischer Kräfte (Drehwage), gest. als Generalinspektor der Universität zu Paris den 23. August 1806.

2) Watt, James, der Schöpfer der heutigen Dampfmaschine, geb. de 19. Januar 1736 zu Greenrock, gest. den 19. August 1819 zu Heathfield b Birmingham.

3) Henry, Joseph, amerikanischer Gelehrter, geb. den 17. Dezember 17 zu Albany (Newyork), gest. den 13. Mai 1878 zu Washington.

Rohrleitungen und dgl. findet. Wie nun bei einer Wasserkraft das Produkt aus der sekundlich durchfließenden Wassermenge und der Gefällhöhe maßgebend ist für die Leistung der Wasserkraft in PS oder mkg/sek, so ist auch bei dem elektrischen Strom das Produkt aus Spannung (Volt) und Stromstärke (Ampere) = Voltampere oder Watt das Maß für die Leistung.

Aus der weiter oben gegebenen Erklärung ergibt sich ferner:

$$1 \text{ Volt} = 1 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ Ohm},$$

$$1 \text{ Ampere} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ohm}} \text{ und } 1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}}.$$

Diese Beziehungen der drei Größen untereinander bilden das wichtige Ohmsche Gesetz: Die Stromstärke ist gleich der Spannung dividiert durch den Widerstand.

Der elektrische Widerstand eines Leiters ist abhängig von der Länge und dem Querschnitt des Leiters, d. h. er ist proportional der Länge und umgekehrt proportional dem Querschnitt. Der Widerstand ist aber auch abhängig von der Art des Leiters.

Abgesehen von den nichtleitenden Stoffen, zu denen hauptsächlich Luft, Glas, Porzellan und Gummi gehören, ist auch das Leitvermögen der Metalle, die zu den bestleitenden Stoffen gehören, sehr verschieden. Der spezifische Leitungswiderstand der für die Elektrotechnik wichtigsten Materialien, bezogen auf 1 m Länge und 1 qmm Querschnitt bei 15° C, ist:

	Widerstands-Koeffizient:	Temperaturkoeffizient in Tausendsteln auf 1° C:
Silber	0,016	3,6
Kupfer	0,0172	4
Eisen	0,09 ~ 0,15	4,5 — 4,8
Aluminium	0,029	3,7
Zink	0,059	3,9
Neusilber	0,16 ~ 0,40	0,072
Beleuchtungskohle	50,00	

Der Widerstand der Metalle ist je nach ihrer Reinheit oder bei den Legierungen je nach ihrer Zusammensetzung verschieden; er ist außerdem abhängig von der Temperatur. Bei Metallen steigt der Widerstand mit zunehmender Temperatur. Die Zahl, welche angibt, um wieviel der Widerstand eines Körpers bei Erhöhung seiner Temperatur um 1° C steigt, heißt sein Temperaturkoeffizient. Mit dessen Hilfe kann man z. B. die Temperaturzunahme einer vom Strom durchflossenen

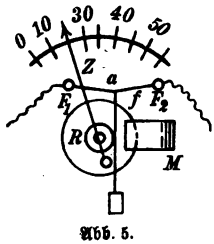


Abb. 5.

Magnetwicklung, deren Inneres für eine Messung mit Thermometer unzugänglich ist, feststellen. Bei schlecht leitenden Körpern, z. B. Beleuchtungskohle, Magnesia u. a. m., sinkt der Widerstand mit zunehmender Temperatur.

Meßinstrumente. Für die Messung des elektrischen Stroms werden seine Wirkungen in chemischer, thermischer und magnetischer Beziehung benutzt.

Die chemische Wirkung im Voltameter (Zersetzungszelle), nicht zu verwechseln mit Voltmeter (Spannungsmesser), gibt durch die ausgeschiedene Silbermenge das Maß für die durchfließende Stromstärke.

Die durch den Stromdurchgang hervorgerufene thermische Wirkung bildet die Grundlage der Hitzdrahtinstrumente (Hartmann & Braun, Frankfurt a. M.). Die Erwärmung und die hierdurch bedingte Verlängerung des Platindrahtes *a* (Abb. 5) gibt das Maß für die durchfließende Stromstärke. Die Dehnung wird durch den Faden *f* und das Rad *R* auf den Zeiger *Z* übertragen. Auf der Drehachse von *R* sitzt noch eine Kupferscheibe, die sich zwischen den Polen eines kräftigen Magneten *M* dreht und so die Schwingungen des Zeigers dämpft.

Die meisten Meßinstrumente benutzen die magnetischen Wirkungen des Stromes, sei es, daß kleine segmentartig gebogene Eisenplättchen *a* von der vom Strom durchflossenen Spule *s* angezogen werden (Abb. 6), sei es, daß eine vom Strom durchflossene Spule (Solenoid) *s* sich entgegengesetzt der Wirkung einer kleinen Spiralfeder *f* zwischen den Polen eines kräftigen Hufeisenmagneten dreht. (System Deprez-Arsonval; Abb. 7.)

Schaltet man den Meßapparat unmittelbar in die Hauptleitung ein, so mißt man die durchfließende Stromstärke. Legt man das Instrument, dessen innerer Widerstand dann im Verhältnis zu dem der Hauptleitung entsprechend groß sein muß, an die Klemmen des Stromerzeugers (Element, Dynamomaschine oder dgl.), da mißt man die elektromotori Kraft, die Spannung, we den Strom durch den Le

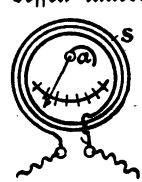


Abb. 6.

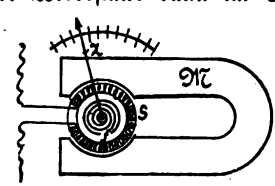


Abb. 7.

treibt. Abb. 8 zeigt schematisch die Einschaltung von Strom- und Spannungsmesser in die Verbindungsleitungen zwischen einer Dynamo und einem Motor. Die Spule des Amperemeter hat nur einen

Abb. 8.

Widerstand von 0,005 Ohm; wenn also 100 Amp. durchfließen, dann beträgt der Spannungsabfall $100 \cdot 0{,}005 = 0{,}5$ Volt $= 0{,}22\,\%$ der erzeugten Spannung. Der Widerstand der Spule des Spannungsmessers beträgt 1500 Ohm; es durchfließt ihn also eine Stromstärke von $\frac{225}{1500} = 0{,}15$ Amp. $= 0{,}15\,\%$ der erzeugten Stromstärke.

Die Messung des Widerstandes in Ohm erfolgt in der Praxis meistens in der Weise, daß man die Spannung und die Stromstärke in dem betreffenden Stromkreise bestimmt und den Widerstand dann durch die Division, Spannung durch Stromstärke, errechnet. Dies ist meist bequemer als die unmittelbare Feststellung des Widerstandes durch die Wheatstonesche Brücke. Dieser Apparat ist in Abb. 9 schematisch dargestellt. Der Schleifkontakt s kann auf dem genau abgeglichenen Meßdraht mn entlang gleitend bewegt werden. Die Enden dieses Drahtes sind einerseits mit der Stromquelle und andrerseits mit den Enden des Vergleichswiderstandes c und dem zu messenden Widerstande x verbunden, während das Galvanometer g zwischen den Schleifkontakt s und die anderen Enden der beiden Widerstände geschaltet ist. Der Ausschlag der Galvanometernadel g wird gleich Null, wenn sich der unbekannte Widerstand x zu dem bekannten Widerstand c verhält wie die Strecke ny zu my.

Die Instrumente, welche gleich das Produkt aus Stromstärke (Ampere) und Spannung (Volt), also die Leistung (Watt) messen, werden Leistungsmesser (Wattmesser) genannt. Sie bestehen aus einer Verbindung von Strom- und Spannungsmesser. Die

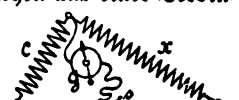


Abb. 9.

...parate, welche die in der Zeit durchgeflossene ...rommenge anzeigen, heißen Amperestunden...zähler (Coulombzähler); Zähler, bei ...en auch die Spannung berücksichtigt wird, ...den Wattstundenzähler genannt. Am-

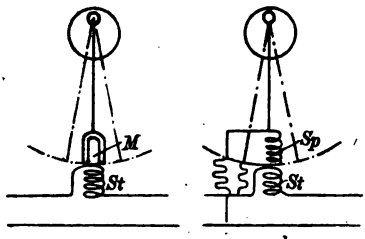


Abb. 10.

perestunden- und Wattstundenzähler werden meist als Elektrizitätszähler bezeichnet.

Für die Messung von Amperestunden benutzte man zuerst Uhrwerke, deren Pendel unten statt des üblichen Gewichtes einen Stahlmagneten *M* trugen (Pendelzähler). Unterhalb des Pendels war die von dem zu messenden Strom durchflossene Spule *St* angebracht (Abb. 10a). Da die Schwingungsdauer des Pendels nicht nur von seiner Länge, sondern auch von der Erdanziehung abhängig ist $\left(t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}\right)$, so wird das Pendel schneller schwingen, wenn die Spule *St* anziehend auf den Stahlmagneten *M* wirkt. Die Voreilung dieses Zählwerkes gegenüber einer Normaluhr gibt das Maß für die durchflossene Strommenge (Amperestunden). Wenn die Spannung dauernd gleichmäßig ist, so ist die Voreilung auch proportional der in der Zeit durchgeflossenen Leistung (Wattstunden). Sollen etwaige Ungleichmäßigkeiten der Spannung berücksichtigt werden, dann wird der Stahlmagnet *M* durch eine Spannungsspule *Sp*, d. h. durch eine Spule mit hohem Widerstand ersetzt, die wie ein Spannungsmesser in die Leitung eingeschaltet ist (Abb. 10b). Für besonders genaue Messungen werden auch heute noch Pendelwattstundenzähler von H. Aron, Elektrizitätszählerfabrik, G. m. b. H., Charlottenburg, benutzt (Abb. 11), während in den weitaus meisten Fällen sog. Motorzähler verwendet werden. Diese bestehen aus einem umlaufenden

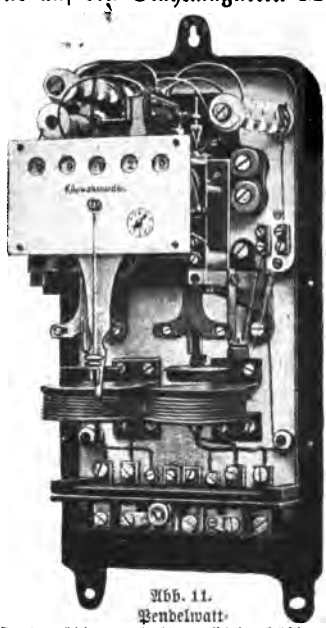


Abb. 11. Pendelwattstundenzähler von H. Aron, Elektr. Zählerfabrik G. m. b. H., Charlottenburg.

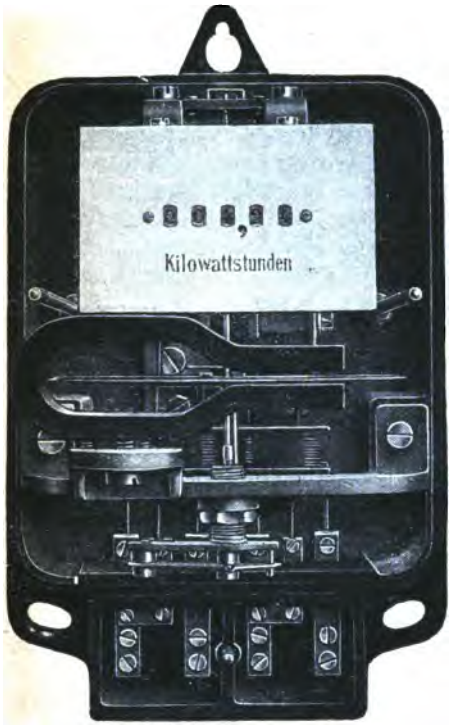


Abb. 13. Motorzähler von Körting & Mathiesen A.-G.

Anker *A* (Abb. 12), der wie ein Spannungsmesser in den zu messenden Stromkreis eingeschaltet ist, während das Magnetfeld durch zwei vom Hauptstrom durchflossene Spulen *M* gebildet wird. Auf der Achse des Ankers befindet sich noch eine Kupfer- oder Aluminiumscheibe *Sch*, die sich zwischen den Polen eines Stahlmagneten *St M* bewegt. Die hierdurch bewirkte Bremswirkung wird so eingestellt, daß die Drehgeschwindigkeit

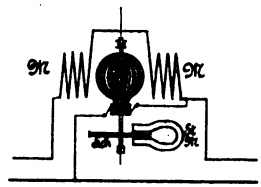


Abb. 12.

des Ankers proportional der durchfließenden Energiemenge ist. Den inneren Aufbau eines solchen Zählers von der Firma Körting & Mathiesen, A.-G., Leutzsch-Leipzig, zeigt Abb. 13.

Dynamomaschinen und Elektromotoren.

Dynamomaschine, Gleichstrommaschine, Stromerzeuger für Gleichstrom.

Für die elektrische Kraftübertragung im engeren Sinne (also mit Ausschluß von Telegraphie und Telephonie) kommt nur der durch Induktion erzeugte Strom in Frage. Die Maschine, welche geeignet ist, mechanische Arbeit in elektrische umzuwandeln, nennen wir Dynamo-

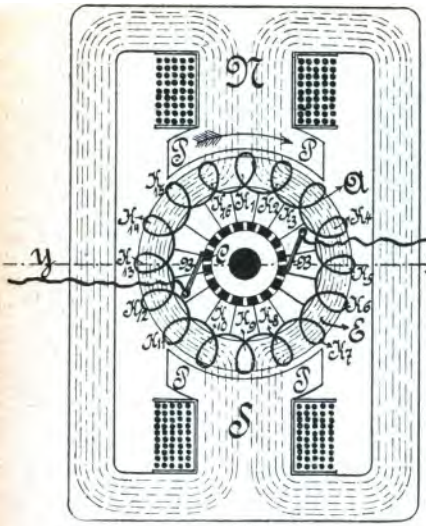


Abb. 14.

maschine, Stromerzeuger, im Gegensatz zu dem Elektromotor, der dazu dient, die elektrische Arbeit wieder in mechanische umzusetzen. Soweit Gleichstrom in Frage kommt, besteht kein Unterschied im Aufbau der Dynamomaschine und des Elektromotors, jede Dynamomaschine kann auch als Elektromotor verwendet werden.

Das Faradaysche Gesetz sagt, daß in einem Leiter, der sich im magnetischen Felde so bewegt, daß er Kraftlinien schneidet, elektrische Spannung erzeugt wird. Die Größe der Spannung ist abhängig von der Zahl der in der Zeiteinheit geschnittenen Kraftlinien, also erstens von der Stärke des magnetischen Feldes, zweitens von der Geschwindigkeit, mit der sich der Leiter bewegt, und wenn wir uns diesen spiralförmig angeordnet denken, von der Zahl seiner Windungen.

Dementsprechend muß eine Dynamomaschine zwei wesentliche Bestandteile haben:

1. die Elektromagnete, welche das magnetische Feld bilden,
2. den Stromleiter, der sich in diesem Felde bewegen kann.

Abb. 14 stellt eine zweipolige Gleichstromdynamomaschine dar, die nach der Lage ihrer Pole als Außenpol- oder nach ihrem ersten Erbauer als Lahmeyertype bezeichnet wird. *A* ist der Stromleiter, der sich um eine Achse drehen kann, *N* und *S* sind die Elektromagnete (Nord- und Südpol). Der Wicklungsraum für die Spulen ist durch die Punkte (Querschnitte der Drähte) angedeutet. Die Verbreiterung an den Magnetkernen *PP* nennt man die Polschuhe; sie dienen zur besseren Führung der Kraftlinien und zur weiteren Umschließung des Stromleiters. Der Verlauf der Kraftlinien ist durch dünne, punktierte Linien angedeutet. Der Stromleiter wird, weil er auch das Schlußstück für die Elektromagneten bildet, meistens Anker genannt; die anderweite Be

zeichnung Induktor ist jedenfalls sinngemäßer. Der Induktor besteht aus dem Eisenkern E und den darum gewickelten Spulen aus isoliertem Kupferdraht K_1 bis K_{16}. Der Eisenkern E ist aus dünnen Blechen zusammengesetzt, die durch zwischengelegte Papierlagen oder Ölfarbenanstrich magnetisch voneinander isoliert sind, um die Verluste durch Hysteresis und Wirbelströme soweit wie möglich herabzusetzen.

Wird ein kräftiger Strom um die Magnete N und S geleitet und dadurch ein starkes magnetisches Feld erzeugt, dann schneidet die Spule K_1 die meisten Kraftlinien, wenn der Anker A schnell in der Richtung des Pfeiles gedreht wird, weil die Bewegung senkrecht zu den Kraftlinien erfolgt. Die in K_1 erzeugte elektrische Spannung erreicht hierdurch ihren Höchstwert. Bei fortschreitender Bewegung, wenn sich K_1 etwa um 45^0 gedreht hat, werden schon weniger Kraftlinien geschnitten, die Spannung wird geringer. Ist die Spule

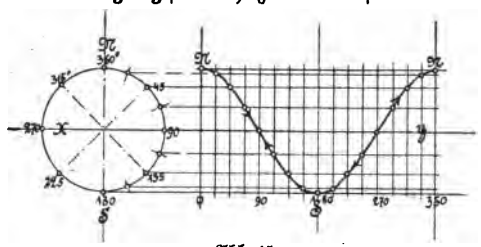


Abb. 15.

K_1 bei x angekommen, dann bewegt sie sich parallel zu den Kraftlinien, es findet keine Veränderung des Magnetfeldes statt und es wird dementsprechend auch keine Spannung erzeugt. Bei weiterem Fortschreiten nähert sich die Spule K_1 dem Südpol, es tritt ein Wechsel in der Stromrichtung ein, die Spannung steigt wieder an, erreicht unmittelbar in der Nähe des Südpols ihren Höchstwert, um dann wieder zu sinken, und zwar wieder bis zum Nullwert bei y.

Trägt man die während einer ganzen Umdrehung (360^0) entstehenden Spannungen als Ordinaten auf, dann erhält man eine Sinuskurve, wie sie in Abb. 15 dargestellt ist.

Aus dieser Sinuskurve ergibt sich, daß in dem Anker der Gleichstrommaschine ein Strom erzeugt wird, dessen Richtung fortwährend wechselt, d. h. jede derartige Maschine ist zunächst eine Wechselstrommaschine. Würde man die Spule K_1 und die gegenüberliegende Spule K_9 mit ≃ leifringen verbinden, so könnte man von diesen ohne weiteres den ugten Wechselstrom ableiten. Um statt des Wechselstromes Gleichm, besser gesagt, um einen Strom von dauernd gleicher Richtung rhalten, muß zu den beiden genannten Hauptteilen noch ein dritter hineten, der sog. Stromabgeber C (Kommutator, Stromwender).

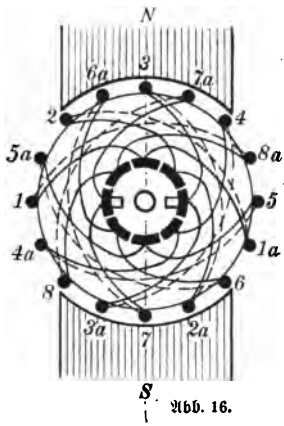


Abb. 16.

Der Stromabgeber ist kreisförmig angeordnet und enthält so viele voneinander isolierte Kupferlamellen, als Spulen auf dem Anker vorhanden sind. Diese Spulen sind mit den einzelnen Lamellen verbunden. Letztere sind auf einer Büchse befestigt und nehmen dadurch, daß die Büchse mit der Ankerachse verbunden ist, an der Drehung des Ankers teil.

Der an Spule K_1 beschriebene Vorgang vollzieht sich in allen 16 Spulen, und die in diesen erzeugten Spannungen addieren sich, während die Stromstärke, welche von dem äußeren Widerstande abhängig ist, einen mittleren Wert annimmt. Ordnet man nun auf dem Stromabgeber Schleifbürsten so an, daß sie den Strom von den Spulen entnehmen, die sich gerade in der Richtung x bis y, der sog. neutralen Zone, befinden, so erhält man Gleichstrom, der immer von den Spulen abgenommen wird, die sich in einer ganz bestimmten Lage zum magnetischen Feld befinden.

In Abb. 14 ist der Anker als Ring dargestellt (Ringanker), wie er von Pacinotti[1]) angegeben und von Gramme[2]) und Schuckert[3]) verbessert worden ist; letzterer hat ihm einen flachen Querschnitt gegeben (Flachring).

Heute werden aber die Anker meistens als Trommelanker in der von Hefner-Alteneck[4]) angegebenen Form ausgebildet. Die isolierten Kupferdrähte werden beim Trommelanker nur um den äußeren Mantel des Eisenkerns herumgelegt, wodurch eine bessere Ausnutzung des

1) Pacinotti, Antonio, ital. Physiker, geb. den 17. Juni 1841 zu Pisa, Prof. a. d. Universität Pisa, gest. 1912.

2) Gramme, Zénobe Théophile, Elektrotechniker, geb. den 6. April 1826 zu Jehay-Bodignée in der belg. Provinz Lüttich, gest. den 20. Jan. 1901 in Bois de Colombe bei Paris.

3) Schuckert, Sigmund, geb. den 18. Oktober 1846 zu Nürnberg, Gründer der Firma Elektr. Akt.-Ges. vorm. Schuckert & Co., Nürnberg, gest. den 17. Sept. 1895 zu Wiesbaden.

4) von Hefner-Alteneck, Friedrich, Ingenieur, geb. den 27. April 1845 z Aschaffenburg, langjähriger Oberingenieur der Firma Siemens & Hals hervorragender Konstrukteur: Trommelanker, Differentialbogenlampe; Lic einheit: Hefnerkerze.

Leitungsmaterials gegenüber dem Ringanker erreicht wird. Während die Ringwicklung und die Verbindung der einzelnen Spulen mit dem Stromabgeber nach Abb. 14 ohne weiteres verständlich ist, erscheint die Trommelwicklung in Abb. 16 weniger übersichtlich. Die ausgezogenen Linien deuten die Verbindungen auf der Seite des Stromabgebers an, die punktierten Linien diejenigen auf der entgegengesetzten Seite des Ankers. Der Stab 1 ist zunächst mit dem Stromabgebersegment und dann mit 1*a* auf der entgegengesetzten Seite verbunden, ferner 1*a* mit 2, 2 mit dem Stromabgeber und 2*a* usw.; der Schluß der Wicklung erfolgt von 8*a* zu 1. Wenn die Wicklungsdrähte auf der glatten Oberfläche des Ankers liegen, spricht man von einem glatten Anker (Abb. 16), sind sie in Nuten eingebettet, von einem Nutenanker. Die Nuten können ganz offen, halb offen oder geschlossen sein (Abb. 17a—c).

Abb. 17.

Der von der Gleichstrommaschine erzeugte Strom besitzt ohne weiteres die für die gleichmäßige Speisung der Magnetwicklung erforderlichen Eigenschaften, er kann also auch unmittelbar hierfür verwendet werden. Je nach der Art, wie man den Erregerstrom von der Dynamo entnimmt, spricht man von Maschinen mit Hauptstrom- (Serien-) wicklung, Nebenschlußwicklung und Verbundwicklung.

Bei der **Hauptstrommaschine** wird der vom Stromabgeber kommende Strom in seiner ganzen Stärke (Hauptstrom) mit nur wenigen Windungen um die Magnete geleitet (Abb. 18). Wenn eine derartige Maschine gleichbleibende Spannung erzeugen soll, so muß auch die durchfließende Stromstärke gleichbleibend sein, d. h. die Dynamo muß dauernd gleichmäßig belastet sein, eine Voraussetzung, die nur in seltenen Fällen zutrifft. Die Hauptstromwicklung wird daher bei Stromerzeugern nur selten angewendet.

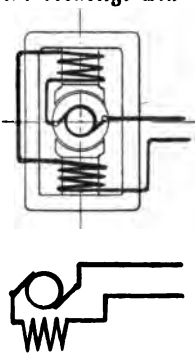


Abb. 18.

Bei der **Nebenschlußmaschine** (Abb. 19) wird ein geringer Zweigstrom (Nebenschluß) in vielen nen Windungen um die Magnete geleitet. Die lge davon ist eine gewisse Unabhängigkeit der ergten Spannung von der im Anker fließenden omstärke. Es ist aber zu berücksichtigen, daß der laufende Anker, besonders bei großer Belastung,

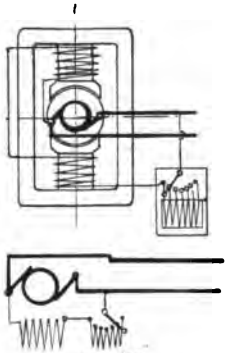


Abb. 19.

ebenfalls stark magnetisch wird, und da sein Feld um 90^0 verschoben ist, so wirkt dieses schwächend auf das durch die Elektromagnete gebildete Feld; diesen Vorgang nennt man Ankerrückwirkung (Ankerreaktion). Die Ankerrückwirkung bewirkt eine Verminderung der Spannung bei starker Belastung der Nebenschlußmaschine. Um diesen Übelstand zu beseitigen, ist in die Magnetwicklung ein regulierbarer Widerstand (Nebenschlußregulator) eingeschaltet, der es gestattet, den Erregerstrom je nach der Belastung der Maschine zu verringern oder zu verstärken und somit gleichbleibende Spannung an den Stromabgeberbürsten, unabhängig von der Belastung, zu erhalten.

Durch die **Verbundmaschine (Compoundmaschine, Doppelschlußmaschine)** — (Abb. 20) — wird, da sie eine Verbindung der beiden vorher genannten Maschinen ist, die gleichbleibende Spannung selbsttätig erreicht. Außer der Nebenschlußwicklung ist auch der Hauptstrom in wenigen Windungen um die Magnete geführt, und die Folge davon ist, daß das von dem Elektromagneten gebildete Feld im gleichen Maße, wie es durch die Ankerrückwirkung bei steigender Belastung geschwächt, durch die in der Hauptstromwicklung wachsende Stromstärke verstärkt wird. Zur genauen Einstellung der Spannung ist auch hier ein Regulierwiderstand erforderlich, besonders zum Ausgleich etwaiger Geschwindigkeitsschwankungen der die Dynamo antreibenden Kraftmaschine. Vielfach wird behauptet, die Verbundmaschine (Compoundmaschine) sei veraltet und würde wenig angewendet. Das ist unzutreffend; der Vorteil der gleichbleibenden Spannung ist so groß, daß man gewisse Nachteile, welche die Verbundmaschine bei der Parallelschaltung mit anderen Dynamos oder mit einer Akkumulatorenbatterie aufweist, mit in den Kauf nimmt.

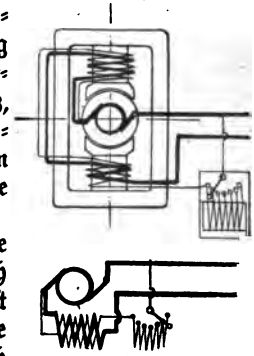


Abb. 20.

Bei der Erläuterung der Nebenschlußmaschine ist darauf hingewiesen, daß das Ankerfeld je nach seiner Größe das Magnetfeld beeinflußt. Ist die Größe des ersteren mit *Fa* (Abb. 21), die des letzteren mit *Fm* bezeichnet, so ergibt sich nach

dem Parallelogramm der Kräfte ein resultierendes Feld mit der Richtung *Fr*. Die Folge davon ist, daß die sog. neutrale Zone nicht mehr in die Richtung *xy* (Abb. 14) fällt, sondern um den Winkel α verschoben ist. Deshalb müssen die Bürsten in diese Richtung gestellt und bei wachsender Belastung, d. h. bei stärkerem Ankerfeld *Fa*, in der Drehrichtung verschoben werden ($\sphericalangle \alpha_1$). Wird dies unterlassen, so gibt die Maschine lebhafte Funken am Stromabgeber, was zu dessen baldiger Zerstörung führt. Von einer guten Gleichstromdynamo verlangt man deshalb heute, daß eine Verschiebung der Bürsten zwischen Null- und Vollast gar nicht oder nur in ganz geringem Maße erforderlich wird. Um dieser Forderung zu genügen, werden die Gleichstrommaschinen vielfach mit Hilfspolen (Kompensations- oder Wendepolen) ausgerüstet, die zwischen je zwei Hauptpolen liegen. Die Größe ihrer magnetischen Wirkung ist der des Ankers gleich, aber ihre Polarität ist entgegengesetzt (Abb. 22). Der von den Stromabgeberbürsten kommende Hauptstrom wird um diese Hilfspole geführt, die durch den Ankerstrom hervorgerufene Feldverzerrung wird dadurch aufgehoben.

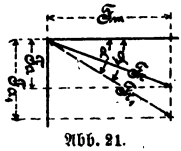


Abb. 21.

Früher wurde bereits darauf hingewiesen, daß die Magnetisierung nicht ganz verschwindet, wenn der magnetisierende Strom auf Null herabgesetzt wird. Der zurückbleibende Teil heißt der remanente Magnetismus des Eisens. Dieser genügt, um in dem sich drehenden Anker eine gewisse Spannung zu erzeugen, welche bewirkt, daß ein entsprechender Strom um die Magnete fließt. Dadurch wird wiederum die Ankerspannung erhöht, und dieses Spiel der gegenseitigen Verstärkung setzt sich fort, bis die der vollen Erregung entsprechende Spannung erzielt ist. Die von Werner von Siemens [1]) entdeckte Wechselwirkung zwischen Anker und Elektromagneten heißt: dynamoelektrisches Prinzip. Seine Kenntnis hat es erst möglicht, Dynamomaschinen mit Leistungen von Tausenden von Kilowatt zu bauen. Die ursprünglichen

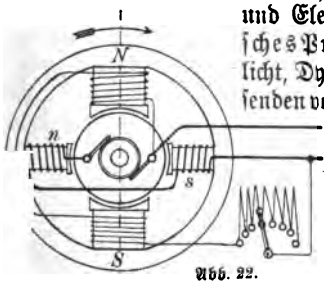


Abb. 22.

1) Siemens, Werner von, berühmter Elektriker, geb. den 13. Dez. 1816 zu Lenthe bei Hannover, hervorragender Konstrukteur auf dem Gebiete der Telegraphie, Gründer der Firma Siemens & Halske, A.-G., Berlin, gest. den 6. Dez. 1892.

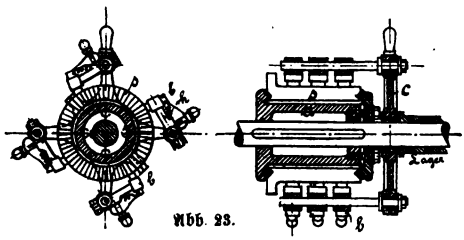


Abb. 23.

magnetelektrischen Maschinen, d. h. solche mit permanenten Stahlmagneten, werden heute nur noch für kleine Leistungen: Kurbelinduktoren für Fernsprecheinrichtungen, für Isolationsprüfungen und für Geschwindigkeitsmessungen gebaut.

Der Stromabgeber (Kommutator, Kollektor) besteht aus einer großen Zahl von Kupferlamellen *s*, die durch Glimmer oder Mikanit, bei geringer Spannung auch durch Preßspan, voneinander isoliert sind (Abb. 23). Vermittels schwalbenschwanzförmiger Einkerbungen sind die Lamellen in einer gußeisernen Büchse *a* und mit dieser auf der Welle *w* befestigt. Die Stromabnahme erfolgt jetzt, nachdem es gelungen ist, gut leitende Kohle herzustellen, meistens durch Kohlenbürsten. Die Bezeichnung Bürste stammt noch aus der Zeit, in der zur Stromabnahme wirkliche Bürsten, bestehend aus vielen nebeneinander gelegten Kupferdrähten, verwendet wurden. Die Kohlenbürste *b* gleitet in dem Kohlenhalter *h*, sie wird durch eine kleine Spiralfeder an die Kupferlamellen gepreßt. Mehrere Bürstenhalter sitzen auf einem Metallstift, dieser wird von der Bürstenbrücke (Bürstenstern) *c* getragen. Die Bürstenbrücke muß, mit Rücksicht auf die früher erwähnte Verschiebung der Bürsten, je nach der Belastung der Maschine, drehbar angeordnet werden. Sie ist bei kleinen Maschinen meistens auf dem Lagerhals, bei großen am Magnetgehäuse befestigt.

Abb. 24. Siemens-Schuckert-Werke, Berlin-Nürnberg. Modell G. M. 85 — G. M. 195.

Die Zahl der Kohlenbürsten richtet sich in erster Lin

nach der abzuführenden Stromstärke. Hat z. B. eine Dynamomaschine, welche 240 Ampere erzeugt, 4 Magnetpole, also 2 Nord- und 2 Südpole, dann sind, wenn man für 1 qcm Kontaktfläche 8 Amp. rechnet und wenn jede Kohlenbürste 2,5 cm breit und 1,5 cm dick ist, $\frac{240}{2 \cdot 8 \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}5} = 4$ Kohlenbürsten für einen Pol oder Bürstenstift erforderlich.

Bei kleineren Maschinen, etwa bis zu 10 Kilowatt Leistung, genügt

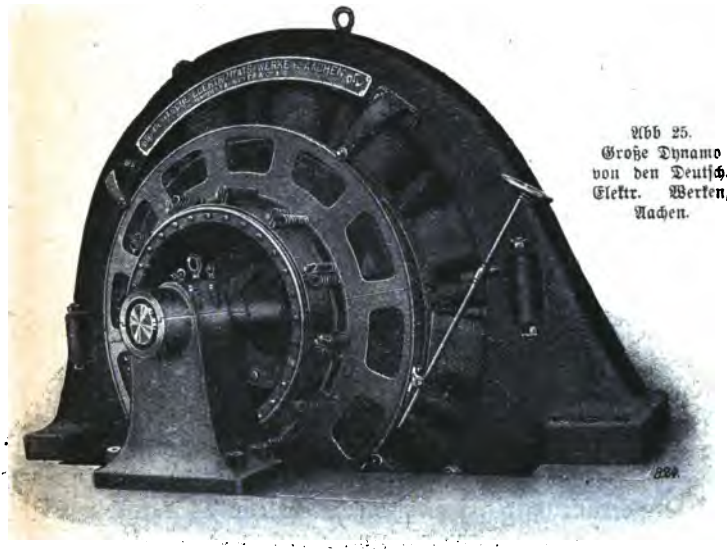


Abb 25.
Große Dynamo von den Deutsch. Elektr. Werken, Aachen.

ein Polpaar, N und S; für größere Leistungen erhöht man zweckmäßig die Zahl der Polpaare bis zu 12, je nach Leistung, Stromstärke, Spannung und Umdrehungszahl. Das Magnetgehäuse wird teils aus Gußeisen, teils aus Stahlguß hergestellt. Abb. 24 zeigt eine kleine Dynamo von den Siemens-Schuckert-Werken, Abb. 25 eine zwölfpolige Type mit Hilfspolen von den Deutschen Elektrizitätswerken, Aachen.

Wirkungsgrad der Dynamomaschine.

Die Umwandlung der Energie ist mit Verlust verbunden, denn die namomaschine setzt nicht die ganze ihr zugeführte mechanische Arbeit elektrische um, sondern verbraucht einen Teil davon für sich.

Der Verlust wird hervorgerufen durch:

1. Reibungsarbeit in den Lagern und an den Bürsten, außerdem durch die Luftreibung zwischen dem Anker und den Magnetpolen (Reibungsverlust);
2. Wärmeentwicklung im Anker- und Magneteisen, die Folge der Hysteresis und der Wirbelströme (Eisenverluste);
3. Wärmeentwicklung infolge des Stromdurchganges durch die Ankerwicklung (Kupferverlust);
4. Stromverbrauch für die Erregung der Magnete (Kupferverlust);
5. Übergangswiderstand zwischen den Bürsten und dem Stromabgeber (Spannungsverlust).

Um die Verluste unter 1. und 2. festzustellen, läßt man die Maschine mit voller Umdrehungszahl als Motor laufen und mißt den Arbeitsverbrauch in der Ankerwicklung. Es wird angenommen, daß die Verluste unter 2. auch bei voller Ankerstromstärke nicht oder nicht nennenswert größer sind als bei der Leerlaufstromstärke.

Der Verlust unter 3. wird errechnet aus der bei Vollast auftretenden Stromstärke J und dem durch Messung ermittelten Widerstand w der Ankerwicklung. Die Leistung ist = Stromstärke · Spannung, $A = J \cdot E$. Nach dem Ohmschen Gesetz ist aber $E = J \cdot w$, also ist auch $A = J \cdot J \cdot w = J^2 w$, d. h. der Leistungsverlust in der Ankerwicklung ist gleich dem Quadrat der Stromstärke multipliziert mit dem Widerstand der Ankerwicklung.

Der Verlust unter 4. ist gleich dem Produkt aus der durch die Magnetwicklung fließenden Stromstärke und der von der Maschine erzeugten Spannung. Der Verlust im Regulierwiderstand geht zu Lasten der Dynamomaschine.

Der Verlust unter 5. ist meist gering; er wird berechnet aus dem Spannungsabfall zwischen dem Stromabgeber und der Bürstenbrücke und der durchfließenden Stromstärke.

Bei Kupferbürsten ist der Spannungsabfall wesentlich geringer als bei Kohlenbürsten. Bei Maschinen für 65 Volt Betriebsspannung fällt natürlich dieser Spannungsabfall mehr ins Gewicht als bei solchen mit 500 Volt Betriebsspannung.

Beispiel: Bei der Abnahmeprüfung einer Dynamo für 85 Kilowa 450 Volt · 189 Amp. bei 600 Umdrehungen in der Minute wurden folg Verluste festgestellt:

1. u 2. Die Ankerwicklung verbrauchte, wenn die Dynamo als Motor lief: 7,3 Amp. · 450 Volt =	3285	Watt
3. Der Ankerwiderstand wurde festgestellt zu 0,11 Ohm, also betrug der Ankerverlust: 189 · 189 · 0,11 =	3930	„
4. Die Stromstärke in der Magnetwicklung war 2,44 Amp., also der Energieverbrauch für Erregung: 2,44 · 450 =	1098	„
5. Der Spannungsabfall an den Bürsten betrug 2,55 Volt, also der Arbeitsverlust: 2,55 · 189 =	480	„
Summe der Verluste:	8793	Watt
Nutzbar abgegebene Leistung:	85000	„
Der Dynamo zugeführte Leistung:	93793	Watt

Wirkungsgrad der Dynamo: $\frac{85000}{93793} = 90{,}6\,\%$

Näheres siehe: Normalien für Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen und Transformatoren, beschlossen vom Verband deutscher Elektrotechniker, Verlag Jul. Springer, Berlin.

Parallelschaltung von Gleichstromdynamos.

In fast allen Anlagen, in denen mehrere gleichartige Stromerzeuger vorhanden sind, wird die Forderung gestellt, daß sie auf ein gemeinsames Leitungsnetz arbeiten, d. h. daß sie parallelgeschaltet werden können.

Bei Hauptstrommaschinen ist dies nicht möglich; höchstens kommt bei diesen eine Hintereinanderschaltung zum Zwecke der Spannungserhöhung in Frage, aber nur selten. Bei Nebenschlußmaschinen bietet die Parallelschaltung keine Schwierigkeiten.

Arbeitet z. B. die Dynamo D_1 (Abb. 26) auf das Leitungsnetz und soll die Maschine D_2 zugeschaltet werden, dann schließt man zunächst den Schalter S_2 +. Dadurch wird der Magnetstromkreis geschlossen, weil die Magnetleitung auf der — Seite vor dem Schalter S_2 — ab gezweigt ist; man hat dadurch die Sicherheit, daß die Magnete in der richtigen Weise erregt werden. Wenn die Maschine D_2 mit der vollen Geschwindigkeit läuft, stellt man den Hebel des Regulierwiderstandes R_2

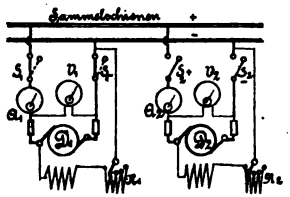


Abb. 26.

ein, daß der Spannungsmesser V_2 mit V_1 übereinstimmt. Nun wird Schalter S_2 — eingeschaltet, und die Parallelschaltung ist fertig. Dynamo D_2 gibt nun zunächst wenig oder gar keinen Strom in Netz ab; erst durch Verstärkung des Magnetfeldes kann sie zur entsprechenden Stromlieferung herangezogen werden.

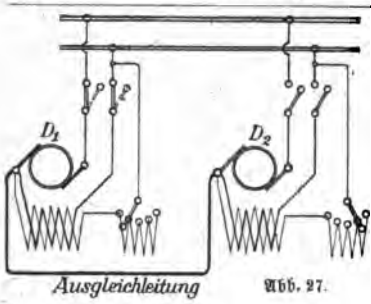


Abb. 27.

Auch Verbundmaschinen lassen sich ohne Schwierigkeit parallel schalten, wenn die Bürstenklemmen beider Maschinen, von denen die Hauptstrommagnetleitungen (Verbundwicklungen) abzweigen, durch eine Ausgleichleitung verbunden werden. Der Querschnitt dieser Leitung wird etwa halb so groß wie der der Hauptleitung gewählt (Abb. 27).

Wechselstromdynamo (=maschine, =erzeuger, =generator).

Die Wechselstromerzeuger bestehen wie die Gleichstrommaschinen aus einer Ankerwicklung, in welcher der Strom durch das magnetische Kraftlinienfeld erzeugt wird, und aus der vom Gleichstrom durchflossenen Magnetwicklung. Während aber bei den Gleichstrommaschinen die Magnete still stehen und der Anker sich dreht, ist es bei den Wechselstrommaschinen meist umgekehrt: der Anker ist ruhend angeordnet und das Magnetsystem dreht sich. Deshalb wird der Anker der Wechselstrommaschinen vielfach als Ständer (Stator) und das Rad mit den Magnetpolen als Läufer (Rotor) bezeichnet.

Aus der Schilderung der Gleichstromdynamo ist zu ersehen, daß in dem Anker ein Strom erzeugt wird, der seine Richtung fortwährend wechselt. Da es nach dem Gesetz der Induktion gleichgültig ist, ob die induzierte Wicklung oder das induzierende Magnetfeld sich bewegt, so ändert die Bauart der Wechselstrommaschine nichts an der Art der Stromerzeugung (Abb. 28). Die Sinuskurve entspricht genau derjenigen in Abb. 15, nur ist sie um 90^0 verschoben. Befindet sich die induzierte Spule zwischen den beiden Magnetpolen, dann ist die in ihr erzeugte Spannung gleich Null. Hat sich die Spule um 90^0 gedreht, steht sie also mitten vor dem Nordpol, dann erreicht ihre Spannung den Höchstwert; bei weiterer Drehung um 90^0 ($= 180^0$) sinkt sie wieder auf Null, bei 270^0 hat sie wieder ihren Höchstwert, aber bei umgekehrter Richtung, und bei 360^0 kehrt sie wieder auf die Nullstellung zurück. Man bezeichnet den oberhalb der Linie xy liegenden Teil als positiv (+), den darunter liegenden Teil als negativ (—). Da der Strom bei jeder

Durchgang vor einem Pol seine Richtung wechselt, so nennt man die Teile von 0 bis 180° und von 180 bis 360° **Polwechsel**, die ganze Länge von 0 bis 360° **Periode**; also eine Periode umfaßt zwei Polwechsel.

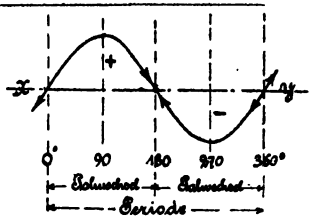


Abb. 28.

Das Auf- und Absteigen der Spannung würde sich bei geringer **Periodenzahl** (**Frequenz**) in einem Flackern der durch solchen Wechselstrom gespeisten Lampen bemerkbar machen; man ist deshalb übereingekommen, 50 **Perioden** = 100 **Polwechsel** in der Sekunde als **normale Frequenz** festzusetzen. Hiervon wird nur in ganz besonderen Fällen Abstand genommen, z. B. bei mit Wechselstrom betriebenen Bahnen und in solchen Anlagen, bei denen der Wechselstrom wieder in Gleichstrom verwandelt werden soll.

Eine Wechselstrommaschine, die 10 Pole hat, muß also 600 Umdrehungen in der Minute machen, um 100 Polwechsel = 50 Perioden in der Sekunde zu erzeugen: $\frac{600 \cdot 10}{60} = 100$. Hiernach ergeben sich folgende Pol- und Umdrehungszahlen:

Umdrehungszahl:	83	94	107	125	150	187	250	300	375	500	600	750	1000	1500	3000
Polzahl:	72	64	56	48	40	32	24	20	16	12	10	8	6	4	2

Schickt man Wechselstrom in die Spule eines Elektromagneten, so ist die in der Spule fließende Stromstärke nicht gleich der Spannung dividiert durch den Ohmschen Widerstand der Spule, sondern wesentlich schwächer. Das ist die Folge der **Selbstinduktion**, denn jede der vielen Drahtwindungen wirkt infolge der auf und ab steigenden Spannung und der sich daraus ergebenden Änderung der Stromstärke und des Magnetfeldes induzierend auf die nebenliegende Drahtwindung, und zwar dergestalt, daß bei ansteigender Stromstärke in Windung 1 ein entgegengesetzter Strom in Windung 2 entsteht; bei absteigender Stromstärke in Windung 1 ist die Stromrichtung in Windung 2 die gleiche. Eine Folge davon ist, daß die Stromstärke der Spannung nachhinkt; diese Erscheinung wird als **Phasenverschiebung** bezeichnet.

Ist keine Phasenverschiebung vorhanden, ist z. B. ein Wechselstromgenerator nur mit Glühlampen belastet, die so gut wie gar keine Selbstinduktion haben, dann gilt auch hier das Gesetz, daß die Leistung gleich

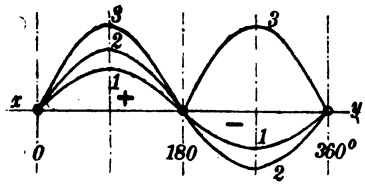


Abb. 29.

dem Produkt aus der Stromstärke und der Spannung ist. Wenn in Abb. 29 die Kurve 1 den Verlauf der Stromstärke und die Kurve 2 den Verlauf der Spannung darstellt, dann gibt die Kurve 3 das Maß für die Leistung aus 1 und 2. Sie verläuft nur oberhalb der xy-Linie, gemäß dem mathematischen Grundsatz, daß das Produkt aus zwei negativen Größen stets positiv ist.

Tritt aber eine Phasenverschiebung ein, eilt z. B. der Strom (Kurve 1, Abb. 30) um 45^0 der Spannung (Kurve 2) nach, dann ergibt sich, daß zu gewissen Zeiten positive Spannung und negative Stromstärke zusammenfallen, d. h. es tritt eine negative Leistung auf, die um so größer ist, je größer der Winkel der Phasenverschiebung ist.

Um diesen Betrag der negativen Leistung wird das Produkt aus Spannung und Stromstärke, die scheinbare Leistung (Voltampere), vermindert; der Rest ist die wirkliche Leistung (Watt). Die wirkliche Leistung ist gleich dem Produkt aus der scheinbaren Leistung und dem Kosinus des Phasenverschiebungswinkels. Letzterer wird allgemein mit φ bezeichnet: also $A = E \cdot J \cdot \cos\varphi$.

Der Faktor $\cos\varphi$ wird der Leistungsfaktor genannt. Ist $\varphi = 0$, dann ist $\cos\varphi = 1$; d. h. wenn der Winkel der Phasenverschiebung $= 0$ ist, wenn also keine Nacheilung des Stromes vorhanden ist, dann ist $A = E \cdot J$. Beträgt die Phasenverschiebung $\varphi = 90^0$, dann ist $\cos\varphi = 0$, d. h. das Produkt $E \cdot J \cdot \cos\varphi$ ist ebenfalls Null; man spricht in solchen Fällen von „wattlosen Strömen".

Hieraus erklärt sich, warum man die Leistung von Wechselstromerzeugern nicht in Kilowatt, sondern in Kilovoltampere angibt. Es ist dies die Leistung, welche die Maschine bei induktionsfreier Belastung, $\varphi = 0$, $\cos\varphi = 1$, abgeben kann. Ist z. B. die Phasenverschiebung im Gesamtstromkreis einer Wechselstrommaschine von 100 Kilovoltampere Leistung, abgekürzt 100 kVA, $= 45^0$ (Abb. 30), dann ist $\cos\varphi = 0{,}707$, und die Maschine kann nur eine wirkliche Leistung von 70 Kilowatt, abgekürzt 70 kW abgeben.

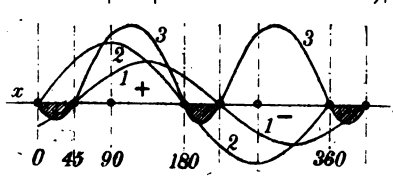


Abb. 30.

In ihrem Aufbau unterscheide

sich die Wechselstrommaschine nicht wesentlich von der Gleichstromdynamo. Der erzeugte Wechselstrom ist für die Erregung der Magnete ungeeignet, deshalb ist für den Betrieb der Wechselstrommaschine meist noch eine kleine Gleichstromdynamo, — Erregermaschine genannt, — erforderlich, wenn für die Speisung der Magnetwicklung keine andere Gleichstromquelle zur Verfügung steht. Die Erregermaschine ist vielfach mit der Wechselstrommaschine gekuppelt, und der von der ersteren erzeugte Gleichstrom wird durch Schleifringe, die auf der Achse isoliert befestigt sind, den Magneten zugeführt. Man spricht von einer Innenpolmaschine, wenn das Magnetrad (Rotor) innerhalb des Anker-(Stator-)gehäuses angeordnet ist; von einer Außenpolmaschine, wenn die Magnete außen liegen. Ist das Magnetrad so schwer ausgebildet, daß es das übliche Schwungrad der mit dem Generator gekuppelten Dampfmaschine (Gasmotor, Dieselmotor usw.) ersetzen kann, so heißt ein derartiger Stromerzeuger Schwungradmaschine.

Zwei- und Dreiphasenwechselstrom-(Drehstrom-)Maschinen.

Bei der oben beschriebenen Wechselstrommaschine ist angenommen, daß der Anker (Stator) nur eine in sich geschlossene Wicklung besitzt. Eine derartig gebaute Maschine wird als einphasige (Einphasen-) Wechselstrommaschine bezeichnet. Einphasenmaschinen sind im allgemeinen für Kraftübertragungszwecke wenig geeignet, wohl aber für Lichtversorgung verwendbar. Der Grund hierfür liegt nicht so sehr in den Stromerzeugern als in den Einphasenwechselstrommotoren, die S. 52 erläutert werden.

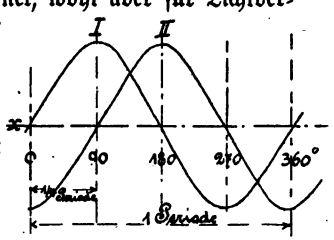


Abb. 31.

Für Kraftübertragung besser geeignet sind die Zweiphasen-, besonders aber die Dreiphasen- oder Drehstrommaschinen. Bei der Zweiphasenmaschine wird die Wicklung in zwei, bei der Drehstrommaschine in drei Teile zerlegt, und diese werden bei der ersteren um 90^0, bei der teren um 120^0, bezogen auf die ganze Periode von 360^0, gegenander versetzt.

Die Folge dieser Anordnung ist, daß beim Zweiphasenstrom die stung der Phase I immer ihren Höchstwert besitzt, wenn die Leistung Phase II gleich Null ist. (Abb. 31)

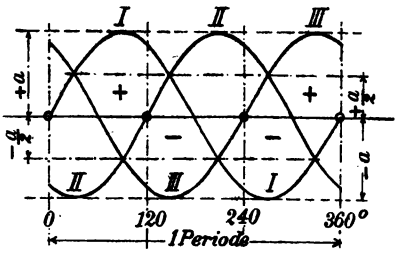


Abb. 32.

Beim Dreiphasenstrom — kurz Drehstrom genannt — verlaufen die Strom- und Spannungskurven wie in Abb. 32 dargestellt ist. Die Dreiteilung hat den großen Vorteil, daß die Summe der drei Ströme, wenn man die entsprechenden Vorzeichen einsetzt, in jedem Augenblick gleich Null ist. Ist z. B. die Spannung und ebenso die Stromstärke der Phase I $= +a$, dann ist die Spannung von Phase II $= -\frac{a}{2}$ und die von Phase III ebenfalls $= -\frac{a}{2}$, weil $\sin 30^0 = \frac{1}{2}$ ist, also $\left(+a - \frac{a}{2} - \frac{a}{2}\right) = 0$. Dieser Zustand ändert sich auch während der Drehung nicht. Ist z. B. die Spannung der Phase I $= 0$, dann ist die der Phase II $= -0{,}866$, die der Phase III $= +0{,}866$, die Summe der drei Spannungen wieder $= 0$. Zur Fortleitung dieses Dreiphasenstromes genügen deshalb 3 statt 6 Leitungen, denn **jede der drei Leitungen ist jederzeit die Rückleitung für die beiden andern und umgekehrt.** Voraussetzung ist hierbei, daß die Stromstärken in den drei Phasen vollständig oder wenigstens annähernd gleich sind. Beim Betrieb von **Dreiphasenmotoren** (**Kraftanlagen**) trifft dies ohne weiteres zu. Bei **Lichtanlagen** muß man die Lampen möglichst gleichmäßig auf alle drei Phasen verteilen.

Von den sechs Enden der drei Wicklungen eines Drehstromgenerators werden je drei unter sich und die übrigen drei mit den abgehenden Hauptleitungen verbunden (Abb. 33). Man nennt diese Verkettung dem Bilde nach: „**Sternschaltung**". Bezeichnet man die in jeder Wicklung erzeugte Spannung „**Phasenspannung**" mit e, dann ergibt die Ausmessung, daß die zwischen zwei äußeren Klemmen herrschende Spannung „**Klemmenspannung**" $E = 1{,}732\ e$ oder $E = e\sqrt{3}$ ist.

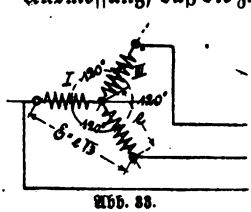


Abb. 33.

Die gesamte Leistung des Drehstromes ist nu- gleich der Summe der Leistungen in den dr Wicklungen (Phasen), d. h. $A = 3eJ$.

Da nun $e = \frac{E}{\sqrt{3}}$ ist, so wird

$$A = \frac{3E \cdot J}{\sqrt{3}} \quad \text{oder} \quad A = \sqrt{3}E \cdot J.$$

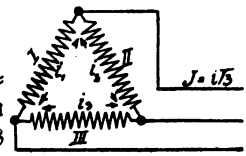


Abb. 34.

Das, was bei der Betrachtung des einphasigen Wechselstromes über Selbstinduktion und Phasenverschiebung, d. h. über das Nacheilen der Stromstärke gegen die Spannung gesagt ist, gilt auch für den dreiphasigen Wechselstrom oder Drehstrom.

Ist also eine Phasenverschiebung vorhanden, dann wird

$$A = \sqrt{3}\,E \cdot J \cos\varphi.$$

Eine zweite Art der Verkettung, die meistens nur bei großen Stromstärken und geringen Spannungen angewendet wird, läßt Abb. 34 erkennen. Dem Bilde entsprechend heißt sie: „Dreiecksschaltung".

Aus der Skizze ist ersichtlich, daß bei dieser Verkettung die Phasenspannung gleich der Klemmenspannung ist, dagegen ist nun die in der Hauptleitung zusammenfließende Stromstärke $J = \sqrt{3}i$, und dementsprechend ist die Leistung wieder

$$A = \sqrt{3}J \cdot E \quad \text{oder} \quad A = \sqrt{3}J \cdot E \cos\varphi.$$

Im Aufbau sind die Einphasen- und Dreiphasen-(Drehstrom-)generatoren vollständig gleich; sie unterscheiden sich nur durch die Wicklung des Stators, die infolge der Verkettung des Dreiphasenstromes etwas anders gestaltet ist.

Die Schaltung eines achtpoligen Drehstromgenerators („Innenpolmaschine") ist in Abb. 35 dargestellt. Auf dem Magnetrad aus Gußeisen — bei großen Maschinen, in denen erhebliche Fliehkräfte auftreten, müssen die Magneträder aus Stahlguß hergestellt werden — sind acht schmiedeeiserne Magnetpole aufgeschraubt, die nach außen mit Polschuhen ausgerüstet sind. Auf der Maschinenachse sind zwei Schleifringe R isoliert befestigt, die von den feststehenden Schleifbürsten B den zur Erregung erforderlichen Gleichstrom erhalten. Die Ringe sind mit der Magnetwicklung verbunden, die so geschaltet ist, daß immer ein Nord-

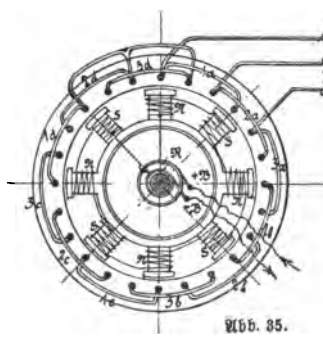


Abb. 35.

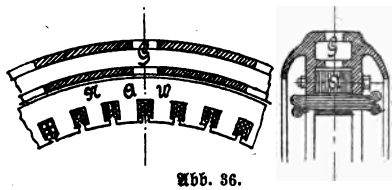


Abb. 36.

und ein Südpol aufeinander folgen. Jedem Magnetpol stehen drei Spulen der Statorwicklung gegenüber, die in den entsprechenden Schlitzen des Ankereisens ruhen. Die Wicklungen $1a$ bis $1d$, $2a$ bis $2d$ und $3a$ bis $3d$ sind auf der entgegengesetzten Seite des Stators in gleicher Weise verbunden, doch ist mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit diese Verbindung in der Zeichnung nicht dargestellt. In jeder der drei Wicklungen wird infolge der Umdrehung des Magnetrades einphasiger Wechselstrom erzeugt und, da die Enden der drei Wicklungen $1d$, $2d$ und $3d$ miteinander verbunden sind, so entsteht eine Verkettung nach der Sternschaltung; die drei Hauptleitungen zweigen von den Anfangspunkten der Wicklungen $1a$, $2a$ und $3a$ ab.

In Abb. 36 ist die Befestigung des unterteilten Ankereisens A in dem Gußeisengehäuse G dargestellt, das mit Rücksicht auf genügende Festigkeit kastenförmigen Querschnitt besitzt. Die seitlichen Verbreiterungen dienen zum Schutze der Wicklungen, die Öffnungen im Rücken des Gehäuses zur besseren Abführung der Wärme. In den Nuten N liegen die isolierten Wicklungen W, die bei geringer Spannung (220 und 500 Volt) aus wenigen dicken Stäben, bei hoher Spannung (2000 bis 10000 Volt) aus vielen dünnen Drähten mit besonders guter Isolation bestehen.

Abb. 37 und 38 stellen Magnetrad (Rotor) und Ankergehäuse (Stator) eines zwölfpoligen Drehstromgenerators von etwa 100 Kilovoltampere Leistung dar.

Abb. 37. 12poliges Magnetrad eines Drehstromgenerators (Rotor).

Das über den Wirkungsgrad der Gleichstromerzeuger Gesagte gilt sinngemäß auch für die Einphasen- und Dreiphasengeneratoren. Wegen der besseren Ausnützung des Leitungsmaterials sind die Dreistrommaschinen den Einphasenwechselstrommaschinen s

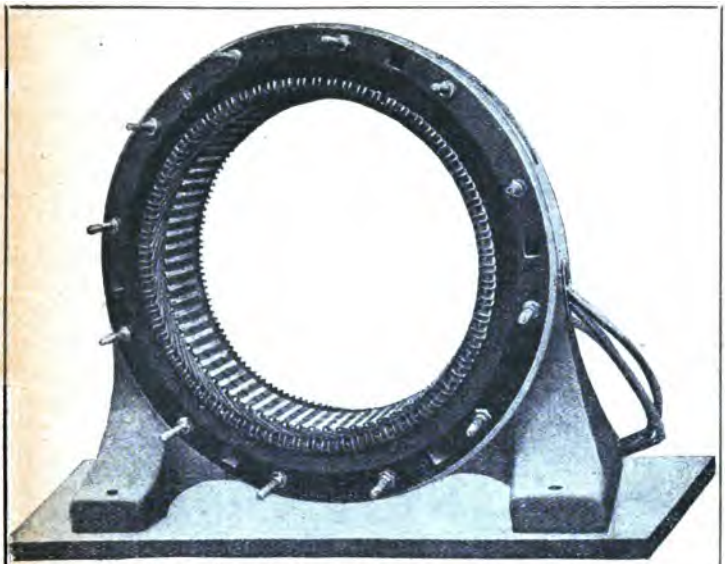


Abb. 38. Ankergehäuse eines Drehstromgenerators (Stator).

wohl im Wirkungsgrad als auch in der Leistungsausnutzung der einzelnen Maschinenmodelle überlegen.

Parallelschaltung von Wechselstrommaschinen.

Für das Zusammenarbeiten von Gleichstrommaschinen auf ein gemeinsames Leitungsnetz genügt es, daß die zuzuschaltende Dynamo auf die gleiche Spannung wie die im Betrieb befindliche gebracht wird. Die zuzuschaltende Wechselstrommaschine muß dagegen mit der in Betrieb befindlichen in Übereinstimmung gebracht werden in bezug auf:

a) Spannung,
b) Frequenz (Periodenzahl),
c) Phase der Klemmenspannung.

Die Regulierung der Spannung wird wie beim Gleichstrom durch entsprechende Einstellung des Magnetregulators bewirkt. Die Gleichheit der Frequenz (Synchronismus) wird durch Beeinflussung der Umdrehungszahl der Antriebsmaschine (Turbine, Dampfmaschine usw.), durch Verstellung des Regulators erzielt. Zur Erkennung des Syn-

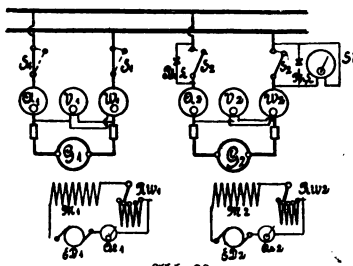


Abb. 39.

chronismus und der Phasengleichheit bedient man sich der „Phasenlampen". Abb. 39 zeigt das Schaltungsschema für zwei Einphasengeneratoren, von denen G_1 bereits im Betrieb ist, während G_2 zugeschaltet werden soll. Dementsprechend ist der doppelpolige Schalter S_1 geschlossen, S_2 geöffnet. Nachdem G_2 ungefähr auf die richtige Umdrehungszahl gebracht ist, wird der Magnetregulator RW_2 so eingestellt, daß der Spannungsmesser V_2 gleich V_1 zeigt. Die Leitungen vor und hinter dem Schalter S_2 sind durch Lampen PhL (Phasenlampen) verbunden; zu der einen Lampe ist ein Voltmeter (Synchronvoltmeter) parallel geschaltet.

Wenn nun die Spannung von G_2 nicht mit der von G_1 übereinstimmt, wenn z. B. die erstere einen Höchstwert hat, während die andere Null ist, dann werden die Lampen hell aufleuchten. Stimmt die Umdrehungszahl der beiden Maschinen nicht ganz überein, dann werden die Lampen bald hell, bald dunkel brennen. Ist die Gleichheit der Umdrehungszahl beinahe erreicht, dann wird das Aufleuchten und Dunkelwerden immer langsamer vor sich gehen.

Sobald Synchronismus eintritt, sind die Lampen vollständig dunkel, das Synchronvoltmeter zeigt keinen Ausschlag; nun erst kann der doppelpolige Schalter S_2 eingeschaltet werden (Dunkelschaltung). Man kann die Phasenlampen und das Synchronvoltmeter auch übers Kreuz schalten, d. h. die linke Lampe mit der rechten Leitung von G_2 verbinden und umgekehrt. Bei dieser Art der Schaltung (Hellschaltung) ist der Synchronismus erreicht, wenn die Lampen ganz hell brennen und wenn das Synchronvoltmeter vollen Anschlag zeigt.

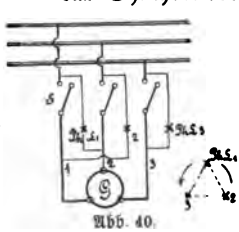


Abb. 40.

Bei Drehstrommaschinen (Dreiphasengeneratoren) muß vor der ersten Parallelschaltung festgestellt werden, ob die Reihenfolge der drei Phasen I, II, III, bei beiden Maschinen gleich ist. Die Phasenlampen werden zu diesem Zwecke genau wie in Abb. 39 in alle drei Leitungen geschaltet. Leuchten nun alle drei Lampen zu gleicher Zeit hell oder dunkel, dann ist die Reihenfolge der Phasen richtig

andernfalls müssen zwei Leitungen des zuzuschaltenden Generators vertauscht werden.

Schaltet man die drei Phasenlampen nach Abb. 40 und ordnet sie im Dreieck an, dann kann man erkennen, ob die zuzuschaltende Maschine zu langsam oder zu schnell läuft, je nachdem das Aufleuchten der Lampen im Drehsinne des Uhrzeigers oder umgekehrt erfolgt.

Gleichstrommotoren mit Hauptstrom-, Nebenschluß- und Verbundwicklung.

Der Vorgang der Stromerzeugung ist umkehrbar. So wie man durch Bewegung eines Leiters im magnetischen Felde Strom erzeugen kann, so kann man einen entsprechend angeordneten Leiter in Bewegung setzen, wenn man Strom in ihn hineinschickt, oder mit anderen Worten: man kann die elektrische Arbeit wieder in mechanische umwandeln. Jeder Gleichstromerzeuger kann ohne weiteres als Gleichstrommotor verwendet werden. Da der Motor ebenso wie der Generator arbeitet, so erzeugt der Anker bei seiner Umdrehung ebenfalls elektromotorische Kraft; diese ist nach den Gesetzen der Induktion der ursprünglich eingeleiteten entgegengesetzt, sie wird deshalb „elektromotorische Gegenkraft" genannt. Ist der Widerstand des gesamten Stromkreises, den eine Dynamo zum Zwecke der Kraftübertragung speisen muß, d. h. die Leitung, die Anker- und Magnetwicklung des Motors $= W$, so ist die durchfließende Stromstärke J, wenn die elektromotorische Kraft (Klemmenspannung) der Dynamo mit Ed und die Gegenkraft des Motors mit Em bezeichnet wird: $J = \frac{Ed - Em}{W}$.

Die elektromotorische Gegenkraft des Motors ist abhängig von seiner Umdrehungszahl; im Ruhezustande ist sie Null. Würde man nun ohne weiteres die von einer Dynamo kommende Spannung von 220 Volt unmittelbar mit den Klemmen des Motors verbinden, so würde die Stromstärke $J = \frac{Ed}{W} = \frac{220}{W}$ sein. Da der Widerstand eines 100pferdigen 220-Volt-Motors etwa 0,044 Ohm ist, so würde die Stromstärke $J = \frac{220}{0{,}044} = 5000$ Amp. betragen. Das würde Kurzschluß bedeuten, d. h. Ausgleich der Spannung durch einen sehr geringen Widerstand mit lebhafter Feuererscheinung an den Kontaktstellen, z. B. am Anhalter und am Stromabgeber. Die Ankerwicklung des Motors würde

sofort verbrennen, wenn keine Sicherheitsvorkehrungen getroffen wären. Es ist also eine Hilfsvorrichtung erforderlich, die man als Anlasser bezeichnet. Ein solcher Apparat, dessen Ausführungsarten S. 82 erläutert werden, gestattet die allmähliche, stufenweise Abschaltung von Widerständen (Stufenwiderstände), so daß die Stromstärke beim Anlauf nicht zu hoch wird. Es ist möglich, den Widerstand des Anlaßapparates in dem Maße zu verringern, wie die Gegenspannung des Motors bei steigender Umdrehungszahl wächst. Ist die volle Umdrehungszahl erreicht, dann kann der Widerstand ganz abgeschaltet werden, oder, wie man auch zu sagen pflegt: der Widerstand wird kurz geschlossen.

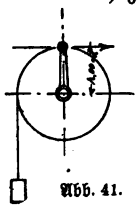


Abb. 41.

Ist z. B. die elektromotorische Gegenkraft des 100 pferdigen Motors 202,4 Volt und der Widerstand des Ankers, der Magnetwicklung und der Verbindungsleitung 0,0476 Ohm, dann ist die durchfließende Stromstärke

$$J = \frac{220 - 202{,}4}{0{,}0476} = \frac{17{,}6}{0{,}0476} = 370 \text{ Amp.}$$

Der Motor nimmt dann auf: 220 Volt · 370 Amp. = 81000 Watt oder für 1 PS-Leistung 810 Watt.

Nach der Art der Bewicklung der Magnete unterscheidet man auch bei den Gleichstrommotoren solche mit Hauptstromwicklung, Nebenschlußwicklung und Verbundwicklung.

Hauptstrom-(Serien-)Motor (Schaltungsskizze Abb. 18.) Dieser wird überall da angewendet, wo eine hohe Anzugskraft, ein „großes Drehmoment" erforderlich ist. Der Ausdruck Drehmoment wird häufig gebraucht, um die Leistung von Hauptstrommotoren zu kennzeichnen. Man denke sich (Abb. 41) auf der Motorachse eine Scheibe von 1,00 m Halbmesser ($r = 1$ m) befestigt und um diese eine Schnur gelegt. Übt nun der Anker auf diese Schnur einen Zug von 25 kg aus, so sagt man: Das Drehmoment ist = 25 kgm (Kilogrammeter). Macht der Motor 600 Umdrehungen in der Minute = 10 in der Sekunde, dann ist die Leistung, d. h. die in der Zeiteinheit geleistete Arbeit:

$$A = 2 \cdot r\pi \cdot 10 \cdot 25 = 2 \cdot 1 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 25 = 1570 \text{ kmg/sek.}$$
$$\text{oder } 1570 : 75 = \text{ca. } 21 \text{ PS.}$$

Das Drehmoment entspricht der Stromstärke J, der Kraftlinienzahl und der Windungszahl z. Soll der Hauptstrommotor beim Einschalt- große, schwere Massen aus dem Ruhezustande in Bewegung setzen oder b

schleunigen, dann steigt beim allmählichen Abschalten des Anlaßwiderstandes die Stromstärke stark an, und da sie die Magnete in ihrer vollen Stärke umfließt, so wächst das Drehmoment entsprechend. Ist die Beschleunigung der Massen erreicht, dann sinkt die vom Motor zu leistende Arbeit, seine Umdrehungszahl steigt an und seine Gegenspannung wächst. Dementsprechend sinkt die durchfließende Stromstärke, das Magnetfeld wird geschwächt und der Motor gezwungen, noch mehr Umdrehungen in der Minute zu machen, um die entsprechende Gegenspannung zu erzeugen. Bei weiter sinkender Belastung erreicht die Umdrehungszahl eine unzulässige Höhe, und es besteht die Gefahr, daß die Flieh- (Zentrifugal-) Kraft die Ankerwicklungen und den Stromabgeber zerreißt. Daraus ergibt sich, daß die Hauptstrommotoren, die an ein Leitungsnetz mit gleichbleibender Spannung angeschlossen sind, für veränderliche Belastung nur dann zu gebrauchen sind, wenn sie dauernd von einem Wärter beobachtet werden, wie das bei Straßenbahnen und Krananlagen der Fall ist. Hier kommt ihre gute Eigenschaft, die hohe Anzugskraft (das große Drehmoment), zu voller Geltung, während auf die Innehaltung einer bestimmten, gleichmäßigen Geschwindigkeit kein Wert gelegt wird.

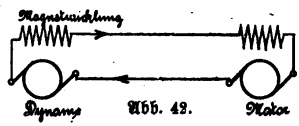


Abb. 42.

Soll ein Hauptstrommotor auch bei veränderlicher Belastung eine bestimmte Geschwindigkeit beibehalten, so läßt sich das nur dadurch erreichen, daß er seinen Strom von einer ganz gleich gebauten Dynamomaschine (Primärmaschine) bekommt (Abb. 42). Alle Anker- und Magnetwicklungen sind hintereinandergeschaltet (Serienübertragung). Wird nun bei Entlastung des Motors die Stromstärke geringer, so daß der Motor das Bestreben zeigt, schneller zu laufen, dann sinkt in gleicher Weise die von der Dynamo erzeugte elektromotorische Kraft und der Motor behält seine Umdrehungszahl bei. Wird die Dynamomaschine bei einer derartigen Kraftübertragung von einer besonderen Kraftmaschine (z. B. Dampfmaschine) angetrieben, dann hat diese Anordnung noch den Vorteil, daß die Umdrehungszahl des Elektromotors abhängig von der der Dampfmaschine ist. Es ist also möglich, die Leistung einer unterirdischen elek-

hen Wasserhaltung dem jeweiligen Wasserzulauf entsprechend da-
ch zu regeln, daß man die über Tage aufgestellte Dampfmaschine
gsamer oder schneller laufen läßt. Soll aus bestimmten Gründen
Hauptstrommotor an ein Gleichstromnetz mit gleichbleibender Span-

nung angeschlossen werden und ist die Belastung des Motors nicht eine ganz bestimmte, gleichbleibende, dann muß in die Zuleitung ein selbsttätiger Ausschalter eingebaut werden, der bei sinkender, z. B. bei $^2/_3$ der vollen Stromstärke, die Leitung unterbricht.

Der **Nebenschlußmotor** (Schaltungsskizze Abb. 19) behält seine Umdrehungszahl annähernd bei, ganz gleich, ob er voll belastet ist oder leer läuft. Dagegen ist sein Drehmoment geringer als das des Hauptstrommotors. Soll der Nebenschlußmotor beim Anlauf große Massen beschleunigen, so ist dazu eine wesentlich größere Stromstärke im Anker erforderlich als beim Hauptstrommotor. Der Nebenschlußmotor eignet sich also überall da, wo keine großen Massen zu beschleunigen sind, dagegen auf Innehaltung einer gleichbleibenden, von der Belastung unabhängigen, Umdrehungszahl besonderer Wert gelegt wird. Das ist meist der Fall, und deshalb kommt der Nebenschlußmotor häufig in Anwendung. Einen besonderen Vorteil bietet er noch dadurch, daß man seine Umdrehungszahl in weiten Grenzen willkürlich und unabhängig von der Belastung durch entsprechende Veränderung des Magnetfeldes ändern kann. Jeder Motor erzeugt eine elektromotorische Gegenkraft, und diese ist abhängig von der Stärke des Magnetfeldes. Verstärkt man nun das Magnetfeld durch entsprechende Einstellung des Nebenschlußregulators, dann wächst die elektromotorische Gegenkraft Em, die Ankerstromstärke $\left(\frac{Ed - Em}{W}\right)$ wird dementsprechend kleiner, und das von ihr erzeugte Drehmoment geringer. Die Umdrehungszahl sinkt, bis die elektromotorische Gegenkraft Em wieder einen entsprechenden Wert erreicht hat. Schwächt man das Magnetfeld, dann tritt der umgekehrte Fall ein. Die elektromotorische Gegenkraft wird kleiner, die Ankerstromstärke und das Drehmoment werden größer und dementsprechend steigt die Umdrehungszahl. Hierbei muß man sich hüten, den Erregerstrom ganz auszuschalten, weil der dann nur noch verbleibende remanente Magnetismus bei weitem nicht genügt, um das erforderliche Drehmoment des Ankers zu erzeugen. Der Ankerstrom wächst sehr stark an, und wenn die Sicherungen nicht schmelzen, ist eine Zerstörung der Ankerwicklungen, teils durch die Stromwärme, teils durch die Fliehkraft, die Folge.

Der **Verbund- (Compound-) Motor** (Abb. 20), besteht wie Verbundmaschine aus einer Verbindung der beiden vorgenannten Art er hat also eine doppelte Wicklung auf den Magneten (Doppelschl

motor). Dadurch sind auch seine Eigenschaften bestimmt. In der Zugkraft (starkes Drehmoment) nähert er sich dem Hauptstrommotor, in der gleichbleibenden Umdrehungszahl dem Nebenschlußmotor. Läßt man die Hauptstromwicklung in ganz geringem Maße der Nebenschlußwicklung entgegenwirken, so kann man, ähnlich wie bei dem Verbundstromerzeuger gleichbleibende Spannung, eine fast gleichbleibende Umdrehungszahl bei jeder beliebigen Belastung erreichen. Meistens läßt man die Hauptstromwicklung in gleichem Sinne wie die Nebenschlußwicklung wirken, und je nachdem man den Magneten mehr Hauptstrom- oder mehr Nebenschlußwicklung gibt, nähert sich der Verbundmotor mehr dem Haupt- oder dem Nebenschlußmotor. Bei schweren Antrieben, z. B. Baggern, Kettenbahnen, Brech- und Walzwerken, wo man mit sehr großen und plötzlichen Belastungsschwankungen rechnen muß und auf gleichbleibende Umdrehungszahl keinen besonderen Wert legt, ist der Verbundmotor besonders am Platze. Vielfach wird seine Nebenschlußwicklung nur so stark bemessen, daß sie ein gefährliches Durchgehen bei plötzlicher und gänzlicher Entlastung verhindert.

Das Parallelarbeiten von zwei Nebenschlußmotoren, d. h. das gemeinsame Arbeiten auf eine Wellenleitung, sollte vermieden werden, es sei denn, daß zwei Motoren von ganz gleicher Größe und Bauart benutzt werden. Bei Verwendung ungleich großer Motoren hält es sehr schwer, die Belastung auf die Motoren entsprechend ihrer Größe zu verteilen, weil geringe Änderungen in der Umdrehungszahl große Änderungen in der Ankerstromstärke zur Folge haben. Für das Parallelarbeiten sind Hauptstrommoten besser geeignet, weil sich bei ihnen die Belastung selbsttätig gleichmäßig auf die Motoren verteilt.

Wechselstrom- und Drehstrommotoren.

Jeder Wechselstrom- oder Drehstromerzeuger kann auch als Motor benutzt werden, aber er kann nicht einfach wie der Gleichstrommotor vermittels eines Anlaßwiderstandes in Betrieb gesetzt werden, sondern er muß erst durch eine besondere Vorrichtung, z. B. durch eine vorhandene Wellenleitung oder einen Hilfsmotor, auf eine derartige Geschwindigkeit gebracht werden, daß er mit dem Stromerzeuger gleiche Spannung, Phasenzahl und Periodenzahl hat, daß also die Bedingungen der Parallelschaltung und des Synchronismus erfüllt sind. Nur unter dieser Voraussetzung kann die Verbindung hergestellt und die Maschine dazu benutzt werden, die ihr zugeführte elelektrische Arbeit in mechanische umzuwandeln. Alle

Ein-, Zwei- und Dreiphasengeneratoren lassen sich als Synchronmotoren verwenden, und zwar verdient auch hier wieder der Dreiphasen- oder Drehstrom den Vorzug. Die Synchronmotoren bieten, außer der Schwierigkeit, sie in Betrieb zu setzen, noch den Nachteil, daß sie nur geringe Überlastung vertragen; bei größerer Überlastung fallen sie außer Tritt und bleiben stehen. Dagegen bieten sie die Möglichkeit, den Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) in einem Leitungsnetz dadurch zu verbessern, daß man den Synchronmotor übererregt, d. h. zu stark erregt. Hierdurch wird eine Voreilung des Stromes erzielt, welche einen Ausgleich für die früher geschilderte Nacheilung des Stromes (Phasenverschiebung) schafft. Die eigentlichen Wechsel- oder Drehstrommotoren sind die „Asynchronmotoren", die ebenso wie die Gleichstrommotoren in einfacher Weise angelassen werden können. Der Wechsel- oder Drehstrom wird nur der Wicklung des äußeren Gehäuses, des Ständers (Stators) zugeführt; die Wicklung des Läufers (Rotors) steht mit der eigentlichen Stromquelle in keiner Verbindung; in ihr wird der Strom nur induziert, weshalb diese Motoren auch „Induktionsmotoren" genannt werden. Die Umdrehungszahl der Asynchronmotoren ist bei Leerlauf der Synchrondrehzahl annähernd gleich, bei voller Belastung bleibt sie um 3—5%, je nach der Größe und Bauart des Motors, zurück. Der asynchrone Einphasenmotor hat nur ein geringes Drehmoment beim Anlauf und wird deshalb wenig benutzt. Die Asynchrondrehstrommotoren haben den Vorteil, daß sie mit großer Last anlaufen können, daß ihr Wirkungsgrad sehr günstig ist und daß sie im Betrieb unempfindlicher sind als die Gleichstrommotoren, weil der Stromabgeber fehlt. Dagegen haben sie den Nachteil, daß ihr Leistungsfaktor nicht gleich 1,0 ist; er schwankt nach Größe und Bauart des Motors zwischen 0,7 und 0,93. Außerdem kann man ihre Umdrehungszahl nicht wie bei den Gleichstromnebenschlußmotoren in wirtschaftlich günstiger Weise ändern. Solche Änderung gestattet nur die dritte Art dieser Motoren, das sind die Einphasen- und Drehstrom-Kollektor-(Kommutator-)motoren, die, wie ihr Name sagt, mit einem Kommutator oder Kollektor, ähnlich den Gleichstrommotoren ausgerüstet sind. Bei den Kollektormotoren wird meist auch der Rotorwicklung Strom von außen zugeführt. Sie haben den Vorzug eines besseren Leistungsfakto und sie laufen unter großer Last an. Bei dem Einphasenkollektormo kommt noch hinzu, daß er nur zwei Zuleitungen braucht und desh für den Betrieb elektrischer Bahnen besonders geeignet ist.

Drehfeld. Unter Drehfeld darf man sich nicht, wie das Wort anzudeuten scheint, ein Magnetfeld vorstellen, dessen Pole sich drehen, wie das bei dem Polrad eines Drehstromgenerators der Fall ist. Das Drehfeld ist ein Magnetfeld, das sich bewegt (sich dreht), während die Magnetpole mit ihren Wicklungen in Ruhe bleiben. Auf dem Eisenkern *E* (Abb. 43 und 44) sind drei Spulen: I, II, III, angeordnet, die um 120° versetzt und mit den drei Leitungen des Drehstromgenerators verbunden sind. Im Zeitpunkt 0° (Abb. 43) hat die Leitung I ihren Nullpunkt, II ist negativ und III positiv (je II und III 0,866). Dementsprechend bildet sich links ein Südpol, rechts ein Nordpol (Abb. 43), und eine in den Eisenring gesetzte Magnetnadel stellt sich so ein, wie Abb. 43 zeigt. Nach der Drehung von $^1/_4$ Periode = 90° erreicht die Leitung I ihren positiven Höchstwert, II und III werden negativ. Der Nordpol ist oben, der Südpol unten, und die Magnetnadel stellt sich so ein, wie in Abb. 44 gezeichnet ist, d. h. sie hat ebenfalls eine Drehung von 90°, entgegengesetzt dem Drehsinn des Uhrzeigers gemacht. Daraus

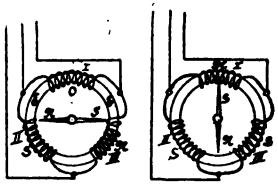


Abb. 43. Abb. 44.

ergibt sich, daß sich das Magnetfeld entsprechend der Periodenzahl des Drehstromerzeugers dreht: daher der Name **Drehfeld**. Ersetzt man die Magnetnadel durch einen Weicheisenzylinder, der sich leicht um seine Achse drehen kann, so setzt sich dieser auch in Bewegung, weil in ihm Magnetfelder **induziert** werden. Die ganze Vorrichtung bildet einen Elektromotor, dessen drehbarer Teil mit der Stromzuführung gar nicht verbunden ist (**Induktionsmotor**). Die gleiche Erscheinung tritt beim Zweiphasenstrom ein; der Einphasenstrom erzeugt kein Drehfeld. Weiter oben wurde darauf hingewiesen, daß sich der Rotor eines Asynchrondrehstrommotors mit etwas geringerer Geschwindigkeit bewegt als dem Synchronismus entspricht. Würde der Rotor synchron mit dem Generator laufen, dann würden keine Kraftlinien geschnitten, es würde keine Induktion mehr stattfinden und dementsprechend keine Zugkraft erzeugt werden. Die Umdrehungszahl des Rotors muß also etwas kleiner sein als die Synchrondrehzahl; den Unterschied zwischen Synchron- und Asynchrondrehzahl nennt man „**Schlüpfung**". Mit zunehmender Belastung muß die Schlüpfung größer werden, denn je größer die Schlüpfung, desto mehr Kraftlinien werden geschnitten, und um so größer wird die Zugkraft, das Drehmoment.

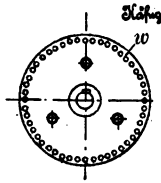


Abb. 45.

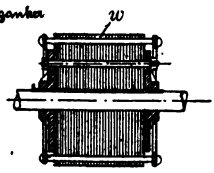


Abb. 46.

Der Rotor (Läufer) des Asynchronmotors (Abb. 45 u. 46) besteht ebenfalls aus dünnen, voneinander isolierten Blechen. Sie sind am Umfang mit Löchern oder Nuten versehen, in denen, ähnlich wie beim Gleichstrommotor, isolierte Kupferwicklungen *w* eingebettet sind. Bei kleinen Motoren werden die Enden der Wicklungsstäbe an beiden Seiten durch je einen Kupferring verbunden, wie in Abb. 46 dargestellt; man bezeichnet diese Läufer als **Käfiganker**. Die Wicklung auf dem Rotor kann man auch als Phasenwicklung ausbilden; sie erhält dann ebensoviel Pole wie das Drehfeld; diese Ausführung heißt: **Kurzschlußanker mit Phasenwicklung**. Zu beachten ist, daß die Enden der Wicklungen bei Dreieckschaltung nochmals besonders verbunden werden müssen, ebenso wie bei der Sternschaltung eine Verbindung aller sechs Enden notwendig ist (Abb. 47 und 48). Das Anlassen dieser Motoren geschieht einfach dadurch, daß die Statorwicklung durch einen dreipoligen Schalter mit dem Leitungsnetz verbunden wird. Dabei tritt ein heftiger Stromstoß auf, der bis zum Zehnfachen der gewöhnlichen Betriebsstromstärke betragen kann. Deshalb sind Motoren mit Kurzschlußwicklung auf dem Rotor nur für kleine Leistungen, etwa 5 PS, oder da gebräuchlich, wo der Motor mit dem Stromerzeuger, der **Primärmaschine**, zusammen anlaufen, oder wo durch einen Anlaßtransformator die zugeführte Spannung während des Anlassens herabgesetzt werden kann.

Für größere Motoren ist es zur Vermeidung des großen Stromstoßes beim Anlassen und der dadurch verursachten Spannungsschwankungen im Leitungsnetz notwendig, daß die Stromstärke in der Rotorwicklung nur allmählich anwächst. Deshalb werden in die Wicklung Widerstände (Anlaßwiderstände) eingeschaltet und allmählich abgeschaltet. Abb. 49 stellt die Verbindung eines Schleifringankers mit dem Anlasser schematisch dar. Drei Enden der Wicklungen sind miteinander, die andere drei mit drei Schleifringen und diese wieder durch die auf ihnen schleifenden Bürsten mit den Enden der drei Stufenwiderstände verbunden. Wird der dreiarmige Hebel in

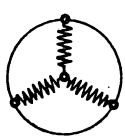


Abb. 47.

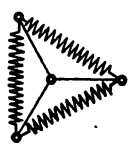


Abb. 48.

Richtung des Pfeils gedreht, so werden die Anlaßwiderstände allmählich abgeschaltet, der Rotor erreicht langsam und ohne großen Stromstoß seine volle Geschwindigkeit. Verbindet man die drei Schleifringe durch eine entsprechende Vorrichtung miteinander, so ist es möglich, die drei Schleifbürsten abzuheben und den Motor mit der kurzgeschlossenen Rotorwicklung weiterlaufen zu lassen. Eine derartige Ausführung nennt man: „Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung". Häufig wird diese Einrichtung mit dem Anlasser und dem Motor derart fest verbunden (angebauter Anlasser), daß die Apparate immer in der richtigen Reihenfolge gehandhabt werden müssen.

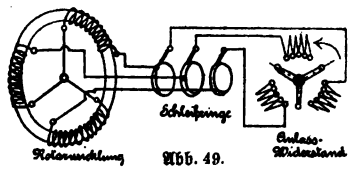


Abb. 49.

Die **Asynchrondrehstrommotoren** haben vor den Gleichstrommotoren den Vorteil, daß sie keinen Stromabgeber besitzen. Der Stromabgeber hat die unangenehme Eigenschaft, daß er bei unsachgemäßer Behandlung, starker Beanspruchung oder auch mangelhafter Bauart zur Funkenbildung neigt. Die Drehstrommotoren können auch, besonders bei größeren Leistungen, für wesentlich höhere Spannungen gebaut werden, z. B. 100 PS für 5000 Volt, weil die hohe Spannung nur dem äußeren, ruhenden Teil (Stator) zugeführt wird. Bei Gleichstrommotoren geht man nicht gern, besonders wegen des Stromabgebers, über 750 Volt hinaus. Dagegen hat der Asynchrondrehstrommotor den Nachteil, daß man seine Umdrehungszahlen nicht nach Belieben ändern kann, ohne daß erhebliche Verluste entstehen. Die einzige Möglichkeit, die Geschwindigkeit des Drehstrommotors zu vermindern, ist dadurch gegeben, daß man bei Motoren mit Schleifringankern den Anlaßwiderstand eingeschaltet läßt. Natürlich muß der Anlasser so reichlich bemessen sein, daß er die Stromstärke dauernd aushalten kann. Dabei geht aber die zur Erwärmung der Drahtspiralen aufgewendete Energie verloren. Ferner macht sich der Übelstand unangenehm bemerkbar, daß die Geschwindigkeit des Motors bei vorgeschaltetem Anlaßwiderstand von der Belastung abhängt; sie steigt bei sinkender und fällt bei wachsender Belastung. Der Drehstrommotor ist also dann nicht zu gebrauchen, wenn genaue Einhaltung verschiedener Geschwindigkeiten, unabhängig von der Belastung, gefordert wird. Weiter macht sich die durch den Asynchronmotor im Leitungsnetz hervorgerufene Phasenverschiebung unangenehm bemerkbar, weniger bei Vollast, weil da der

Leistungsfaktor $\cos\varphi = 0{,}8$ bis 0,9 ist, als bei geringer Belastung und besonders beim Leerlauf. Bei einem vollständig unbelasteten Drehstrommotor beträgt die Stromstärke etwa 30% der vollen Betriebsstromstärke. Eine Anzahl großer Motoren, welche schwach belastet oder leer laufen, drücken die wirkliche Leistungsfähigkeit des Leitungsnetzes und des Generators erheblich herunter. Der Stromerzeuger ist in bezug auf die ihn durchfließende Stromstärke vollbelastet, während die Antriebsdampfmaschine noch das Doppelte leisten könnte.

Der **Einphasensynchronmotor** kann nicht ohne weiteres anlaufen, weil der Einphasenwechselstrom kein Drehfeld erzeugt. Um das Drehfeld herzustellen, wird der Stator mit einer zweiten Wicklung versehen, in welcher eine Phasenverschiebung durch eine vorgeschaltete Drosselspule erzeugt wird. Dieser Apparat enthält einen Eisenkern, wie ein Transformator (s. nächsten Abschnitt), aber nur eine vom Strom durchflossene Wicklung. Die Drosselspule verbraucht eine viel größere Spannung als ihrem Ohmschen Widerstand entspricht. Ferner erzeugt sie eine Phasenverschiebung, wie auf Seite 35 erläutert. Das so erzeugte Drehfeld genügt aber nur, um den Einphasenmotor unbelastet oder mit geringer Last anlaufen zu lassen. Die Geschwindigkeit des Einphasenmotors bleibt ebenfalls hinter dem Synchronismus zurück und ist nicht regulierbar. Da außerdem die Leistung eines Einphasenmotors um etwa $^1/_4$ geringer ist als die des gleich großen Dreiphasenmotors, so wird er nur selten verwendet.

Der **Einphasen-Kollektor- (Kommutator-) Motor,** der in seinem Aufbau dem Gleichstrommotor ähnelt, weil er auch mit einem Kollektor ausgerüstet ist, ist wesentlich besser als der Einphasensynchronmotor. Man kann z. B. einen Gleichstromserienmotor, dessen Magnetwicklungen vom Hauptstrom durchflossen werden, mit Einphasenwechselstrom betreiben, nur muß das Eisen des Magnetgestelles und der Pole unterteilt sein, um die Hysteresis- und Wirbelstromverluste zu mindern. Da der Wechselstrom im Feld und im Anker zugleich die Richtung wechselt, so kann er ein entsprechendes Drehmoment erzeugen. Der Leistungsfaktor der Einphasenkollektormotoren ist günstig, $\cos\varphi$ beinahe 1,00. — Diese Motoren werden in zweifacher Art gebaut:

1. derart, daß dem Stator und dem Rotor Strom von außen zugeführt wird. Da die beiden Wicklungen in Reihe (Serie) geschal sind, so werden die so gebauten Motore als Serien-Einphasekollektormotoren bezeichnet;

2. derart, daß nur dem Stator Strom von außen zugeführt wird, während die Rotorwicklung, wie beim Asynchronmotor, in sich geschlossen ist. Die so gebauten Motoren heißen Einphasen-Repulsionsmotoren.

Das Anlassen beider Motorarten geschieht nur durch Verdrehen der Bürstenbrücke. Die Umdrehungszahl ist in weiten Grenzen veränderlich, sie ist unabhängig von der Frequenz, aber abhängig von der Belastung und Bürstenstellung. Diese Motoren haben den gleichen Fehler wie der Gleichstrommotor mit Hauptstromwicklung: bei geringer Belastung gehen sie durch.

Der „Drehstromkollektormotor" wird im ruhenden Teil (Stator) genau wie ein gewöhnlicher Asynchronmotor gebaut, im drehenden Teil (Rotor) dagegen wie ein Gleichstromanker, aber mit drei Satz Bürsten. Soweit Rotor und Stator in Reihe geschaltet sind, hat auch dieser Motor den Fehler des Gleichstrommotors mit Hauptstromwicklung. Wird dem Rotor Strom von außen zugeführt, so wird die Änderung der Umdrehungszahl durch Zwischenschaltung eines Reguliertransformators bewirkt.

Transformatoren und Umformer.

Transformatoren für Wechsel- und Drehstrom.

Transformatoren dienen dazu, Wechselströme niederer Spannung in solche höherer Spannung umzuwandeln, oder umgekehrt. Diese Apparate sind für Kraftübertragung auf große Entfernung unentbehrlich, weil die Fortleitung elektrischer Energie mit geringer Spannung erheblichen Aufwand an Leitungsmaterial und großen Energieverlust zur Folge hat, also sehr kostspielig ist.

Jedoch muß der hochgespannte Strom am Verwendungsorte wieder herabtransformiert werden, weil kleine Motoren und Lampen nur für niedrige Spannung gebaut werden können. Die Wirkung des Transformators beruht auf den Seite 13ff. erläuterten Gesetzen der Induktion. Der Transformator besteht im wesentlichen aus einem entsprechend geformten Eisenkern, der ähnlich wie der Anker der Dynamomaschine aus dünnen und voneinander isolierten Blechen zusammengesetzt ist, und aus den darüber geschobenen Wicklungsspulen. Je nach Art der Anordnung des Kernes und der Spulen unterscheidet man:

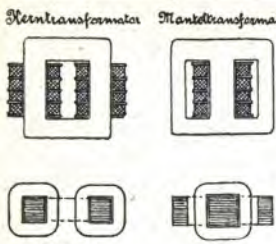


Abb. 50. Abb. 51.

a) „Kerntransformatoren" (Abbildung 50): die Spulen umschließen die Eisenkerne;

b) „Manteltransformatoren" (Abbildung 51): die Eisenkerne umgeben die Spule wie ein Mantel.

Die Hoch- und Niederspannungswicklungen werden meist übereinander angeordnet, und zwar die ersteren außen, damit sie besser zugänglich sind. Beide Wicklungen werden sorgfältig voneinander isoliert; meist wird die Hochspannungswicklung noch in einzelne wieder voneinander isolierte Spulen geteilt.

Wesentlich für den Transformator ist das Übersetzungsverhältnis, d. h. das Verhältnis der Spannungen in den beiden Wicklungen. Die Spannungen verhalten sich zueinander genau wie die Windungszahlen der Wicklungen. Man bezeichnet die eine von ihnen als primäre, die andere als sekundäre. Die Primärwicklung nimmt den Strom, gleichviel ob Hoch- oder Niederspannung, aus dem einen Leitungsnetz auf, die Sekundärwicklung gibt den transformierten Strom an das andere Leitungsnetz ab. Schickt man z. B. in die Primärspule WI, welche 100 Windungen hat, einen Strom mit 500 Volt, so gibt die Sekundärspule WII, wenn sie 1000 Windungen hat, einen Strom von 5000 Volt, wenn sie 2000 Windungen hat, einen Strom von 10000 Volt ab. Leitet man dagegen 5000 od 10000 Volt in die Spule W ein, so gibt die Spule WI 500 V ab. Da die Leistung der seku dären Seite, abgesehen von den

Abb. 52 Transformator mit Ölkessel.

ringen Verlusten im Transformator selbst (bei kleinen Leistungen 4–6 %, bei größeren 2–3 %), gleich der der primären ist, so verhalten sich auch die Stromstärken umgekehrt wie die Spannungen. Will man z. B. in der Spule W II eine Stromstärke von 10 Amp. bei 5000 Volt erhalten, so muß man in die Primärspule 100 Amp. · 500 Volt zuzüglich 3 % für Verluste hineinschicken. Die Verluste im Transformator setzen sich aus Eisen- und Kupferverlusten zusammen. Die Kupferverluste entstehen durch Erwärmung der Wicklungsdrähte, sind also abhängig von der jeweiligen Belastung, d. h. von der durchfließenden Stromstärke. Die Eisenverluste sind eine Folge der Magnetisierung (Hysteresis und Wirbelströme in den Eisenblechen); sie sind so lange vorhanden, als die Wicklungen des Transformators unter Spannung stehen. Der an und für sich sehr günstige Wirkungsgrad des Transformators wird also sehr ungünstig, wenn der Transformator Tag und Nacht unter Spannung steht und der angeschlossene Motor nur kurze Zeit beansprucht wird. Aus diesem Grunde geht das Bestreben der Elektrotechniker dahin, die sog. Leerlaufsarbeit der Transformatoren nach Möglichkeit zu verringern; sie beträgt bei guten Konstruktionen und etwa 100 Kilowatt Leistung nur 1 %.

Abb. 53. Transformator ohne Ölkessel.

Der Verlust im Transformator setzt sich in Wärme um. Zur Abkühlung genügt bei kleinen Transformatoren die äußere Luft. Größere Transformatoren setzt man zum Zwecke besserer Wärmeabfuhr in mit Öl gefüllte Kessel, deren Seitenwände aus gewelltem Blech bestehen. Bei ganz großen Ausführungen ist sogar nötig, das Öl dauernd umlaufen zu lassen, wobei es durch Kühlschlangen geleitet wird, oder die Außenflächen der gewellten Bleche mit Wasser zu berieseln. Abb. 52 zeigt die äußere Ansicht eines Transformators mit Ölgehäuse, während Abb. 53 den inneren Aufbau des Transformators erkennen läßt, wie er von den Siemens-Schuckert-Werken, Berlin, ausgeführt wird. Der in Abb. 52 oben sichtbare runde Behälter, Öl-Konservator genannt, dient dazu, das heiße Öl vor Zersetzung, die durch das Eintreten atmosphärischer Luft eintreten würde, zu schützen.

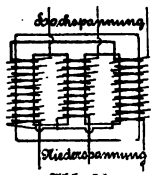
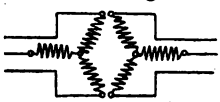
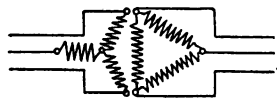


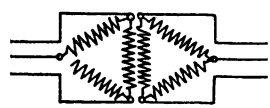
Abb. 54.

Die Abb. 50 und 51 stellen Einphasentransformatoren dar, bei denen nur je eine einfache Hoch- und Niederspannungswicklung vorhanden ist.

Die Dreiphasen- (Drehstrom-)transformatoren werden aus drei Eisenkernen und zwei dreifachen Wicklungen gebildet, die entweder in Stern- oder in Dreieckschaltungen verkettet sind (Abb. 54, 55, 56, 57). Drehstromtransformatoren werden bis zu Leistungen von 5000 Kilowatt und mehr gebaut. Bei ganz großen Ausführungen können drei Einphasentransformatoren zu einem Drehstromtransformator vereinigt werden. Für Laboratoriumszwecke werden Transformatoren für Spannungen bis zu 500000 Volt hergestellt; für große Überlandzentralen beträgt die höchste Spannung z. B. etwa 100000 Volt.


Stern-Stern Schaltung
Abb. 55.


Stern-Dreieck
Abb. 56.


Dreieck-Dreieck-Schaltung
Abb. 57.

Um den Gefahren vorzubeugen, welche dadurch entstehen können, daß die Hochspannungswicklung infolge eines Isolationsfehlers Berührung mit der Niederspannungswicklung erhält, ist in die letztere eine „Spannungssicherung" eingebaut. Diese besteht im wesentlichen aus einem dünnen Glimmerplättchen, das die Niederspannungsleitung von der Erde genügend isoliert. Tritt Hochspannung ein, dann wird dieses Plättchen durchschlagen, und Hoch- und Niederspannungswicklungen sind gut leitend mit der Erde verbunden.

Umformer.

Der Transformator ändert nur die Spannung des Wechsel- oder Drehstromes. Der Umformer verwandelt Wechsel- und Drehstrom in Gleichstrom und Gleichstrom in Wechsel- und Drehstrom, eine Umwandlung der Stromarten, die in der Praxis häufig notwendig ist. Sie kann erreicht werden durch: 1. Motorgeneratoren, 2. Einankerumformer, 3. Kaskadenumformer.

Der Motorgenerator ist eine Verbindung aus einem Motor der elektrische Energie in mechanische umwandelt, und einem damit gekuppelten Stromerzeuger, der die mechanische Energie in elektrische

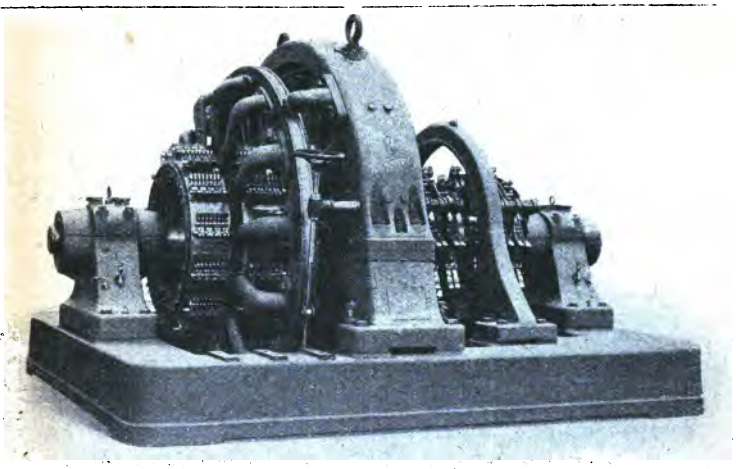


Abb. 58. Einanker-Umformer von den Siemens-Schuckert-Werken, Berlin.

umwandelt. Als Motoren werden sowohl Synchron- als auch Asynchronmotoren verwendet. Erstere haben den Vorteil des besseren Leistungsfaktors, letztere sind bequemer anzulassen und vertragen kurzzeitig (intermittierend) sehr große Überlastungen.

Die Umformung kann ferner in einem rotierenden Anker geschehen; solche Maschinen werden als Einankerumformer bezeichnet. Bei der Beschreibung der Gleichstrommaschine, Seite 25, ist darauf hingewiesen, daß im Anker derselben zunächst Wechselstrom erzeugt wird, während der Kollektor (Kommutator, Stromabgeber) dazu dient, den erzeugten Wechselstrom gleichzurichten. Ordnet man nun auf der einen Seite eines Gleichstromankers in üblicher Weise den Stromabgeber und auf der anderen zwei oder drei Schleifringe an, so erhält man einen Apparat, mit dem man Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom umwandeln kann. Den Aufbau eines solchen Umformers von den Siemens-Schuckert-Werken zeigt Abb. 58. Derartige Apparate werden fast ausschließlich zur Umwandlung von Drehstrom in Gleichstrom benutzt.

Steht Gleichstrom zur Verfügung, so wird dieser in der üblichen Weise zum Anlassen benützt. Wenn nach allmählicher Ausschaltung des

Anlaßwiderstandes die Synchrondrehzahl beinahe erreicht ist, dann wird sie vermittels des Nebenschlußregulators genau eingestellt, und sobald die Bedingungen der Wechselstromparallelschaltung erfüllt sind, können die Schleifringe mit der Drehstromzuleitung verbunden werden.

Steht kein Gleichstrom zur Verfügung, dann wird der Umformer mit einem Asynchronmotor verbunden, der ihm eine Umdrehungszahl erteilen kann, die etwas über der Synchrondrehzahl liegt. Einen derartigen Motor nennt man Anwurfmotor. Man kann das Anlaufen auch ohne Anwurfmotor von der Drehstromseite aus dadurch bewirken, daß man dem Anker Drehstrom von etwa $^1/_3$ der normalen Spannung zuführt. Diese Spannung genügt zum Anlaufen und zur Erreichung der Synchrondrehzahl. Ist diese erreicht, so wird auf die volle Spannung umgeschaltet. Zu beachten ist die Gleichstrompolarität, weil sich diese je nach der Einschaltung des Drehstroms ändern kann.

Das Verhältnis der Spannungen zwischen Wechsel-, Dreh- und Gleichstrom ist bei diesen Umformern wie folgt: 1 Volt Gleichstrom entspricht 0,707 Volt Einphasen- und 0,612 Volt Dreiphasenspannung; 1 Amp. Gleichstrom entspricht 1,414 Amp. Einphasen- und 0,943 Amp. Drehstrom. In den meisten Fällen handelt es sich darum, Gleichstrom von 115, 230, 460 und 550 Volt zu erzeugen. Meist ist die Spannung der zugeführten Drehstromenergie viel höher. In solchen Fällen ist ein Transformator nötig, der die Drehstromspannung zu der Gleichstromspannung in das richtige Verhältnis bringt. Dieser Transformator kann im Bedarfsfalle mit einer Anzapfung für $^1/_3$ der vollen Spannung, die zum Anlassen gebraucht wird, versehen werden.

Ein Nachteil der Einankerumformer ist die Abhängigkeit der Gleichstromspannung von derjenigen des zugeführten Drehstromes. Diesem Mangel läßt sich durch verschiedene Regulierungsvorrichtungen abhelfen. Für geringe Veränderung der Spannung genügt die Einschaltung von Drosselspulen in die Drehstromleitung. Bei größeren Änderungen werden sog. Regulierungstransformatoren oder auch Zusatzdrehstrommaschinen verwendet. Der Wirkungsgrad des mit einem Transformator verbundenen Einankerumformers ist wesentlich günstiger als der des Motorgenerators. Für mittlere Größen und volle Belastung beträgt der Wirkungsgrad etwa 92% beim Einankerumformer und 83—85% bei Motorgenerator. Dieses Verhältnis ändert sich bei geringer Belastung noch mehr zugunsten der Einankerumformer. Man baut sie heute bis zu Leistungen von 5000 Kilowatt.

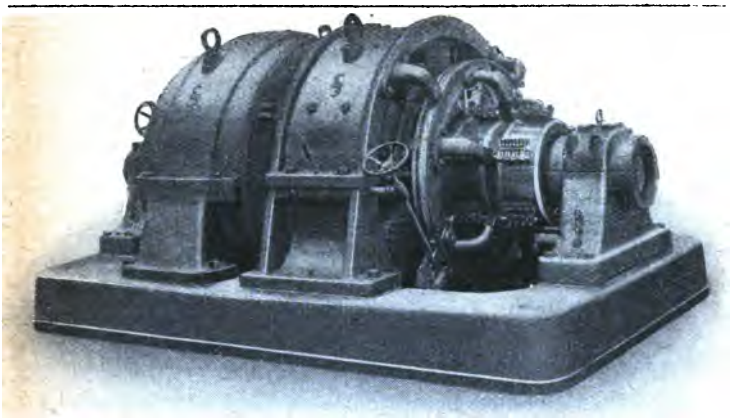


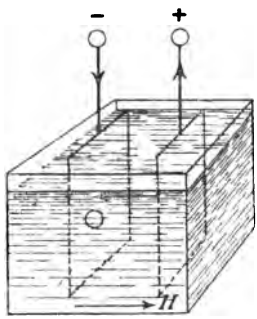
Abb. 59. Kaskaden-Umformer von den Siemens Schuckert-Werken, Berlin.

Eine andere Art der Umformer ist der Kaskadenumformer. Er ist im wesentlichen aus einem Drehstrommotor und einem Einankerumformer auf derselben Achse zusammengesetzt (Abb. 59). Der im Läufer des Drehstrommotors induzierte Strom fließt unmittelbar durch den Anker der Gleichstrommaschine (Kaskadenschaltung). Sowohl in seinem Aufbau als auch in seiner Wirkungsweise stellt dieser Umformer ein Mittelding zwischen Motorgenerator und Einankerumformer dar. Da seine Herstellung mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden ist, wird er wenig angewendet.

Akkumulatoren.

Der Name Akkumulator (Sammler) deutet bereits darauf hin, daß es sich um Apparate, die zur Aufspeicherung dienen, handelt. Die Aufspeicherung elektrischer Energie ist nur möglich, wenn man sie in chemische Energie umwandelt. Nur Gleichstrom ist zur Umwandlung verwendbar; der Wechselstrom kann infolge seiner fortwährend wechselnden Stromrichtung keine chemische Wirkung ausüben.

Der Aufbau eines Akkumulators ähnelt dem eines galvanischen Elementes; der Akkumulator wird deshalb auch als Sekundärelement n Gegensatz zum Primärelement bezeichnet. Die Anforderungen, welche n derartige Apparate in bezug auf Leistung, (Aufnahmefähigkeit, Ka-



Entladung Abb. 60.

pazität), Wirkungsgrad und Lebensdauer gestellt werden müssen, werden am besten von dem Bleiakkumulator erfüllt.

Dieser Akkumulator besteht aus einem Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure, in welche Bleiplatten eintauchen. Bei kleinen Ausführungen besteht das Gefäß aus Glas oder Hartgummi, bei großen aus mit Bleiblech ausgekleidetem Holz. Die Schwefelsäure muß chemisch rein sein und ein spezifisches Gewicht von 1,15 bis 1,23 besitzen. In diese tauchen zwei Elektroden ein (Abb. 60), die im ursprünglichen Zustande reine Bleiplatten sind. Verbindet man nun diese Platten mit einer Gleichstromquelle von entsprechender Spannung, (für je eine Zelle 2 bis 2,5 Volt), so tritt eine Zersetzung des Elektrolyten der Schwefelsäure, (H_2SO_4) ein. Der Sauerstoff wandert zur positiven (+) Platte und verwandelt deren Oberfläche in Bleisuperoxyd (PbO_2); die negative (−) Platte bleibt reines Blei. Der Gehalt der Schwefelsäure nimmt während der Ladung zu. Bei späteren Ladungen dient der bei der Zersetzung des Elektrolyten frei werdende Wasserstoff dazu, das bei der Entladung an der negativen Platte gebildete Bleisulfat ($PbSO_4$) zu reduzieren. Nach der Ladung stehen sich in der Flüssigkeit zwei chemisch verschiedene Leiter gegenüber (+ Platte = Bleisuperoxyd, − Platte = reines Blei), deren elektrische Spannung etwa 2,2 bis 2,3 Volt ist. Während der Entladung findet der umgekehrte chemische Vorgang statt. Wasserstoff (H_2) wandert zur positiven und Sulfat (SO_4) zur negativen Platte; hier bildet sich Bleisulfat ($PbSO_4$), das Wasser (H_2O) wird frei, d. h. bei der Entladung sinkt der Gehalt der Schwefelsäure. Die Zelle darf aber nur so weit entladen werden, bis die Spannung auf etwa 1,82 Volt gesunken ist. Eine vollständige Entladung würde infolge zu starker Sulfatbildung die Platten sehr schnell zerstören. Die Strommenge, welche der Akkumulator bei einem Spannungsabfall von 2,2 auf 1,82 Volt abgeben kann, nennt man seine Kapazität. Sie wird selten in Kilowattstunden, sondern meist in Amperestunden ausgedrückt, weil die Spannung für alle Zellen ob groß, ob klein, die gleiche ist. Die Kapazität ist abhängig von der Größe der Platten. Da an der chemischen Aktion nur die Plattenoberfläche teilnimmt, muß diese möglichst groß sein. Die Größe erreicht man

1. nach dem Faureschen Verfahren dadurch, daß man die Platten gitterförmig ausführt und die Hohlräume mit porösen Bleiverbindungen (Mennige, Bleiglätte) ausfüllt,

2. nach dem Plantéschen Verfahren dadurch, daß man den Platten eine eigenartige Rippenform gibt (Großoberflächenplatten der Akkumul.-Fabrik, A.-G., Berlin-Hagen; Abb. 61).

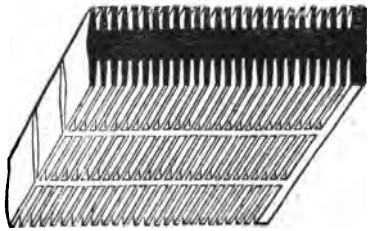


Abb. 61. Akkumulatoren-Großoberflächenplatte.

Außer der Größe der Platten ist auch die Zahl der in einem Element vereinigten Platten für die Kapazität maßgebend. Abb. 62 zeigt eine Zelle mit 21 negativen und 20 positiven Platten. Der gleichmäßige Abstand der Platten voneinander wird durch eingefügte Glasröhren gesichert.

Die Hintereinanderschaltung (Schaltung auf Spannung, Serienschaltung) erfolgt in der Weise, daß man den positiven Pol der einen Zelle mit dem negativen Pol der anderen Zelle verbindet.

Den Gegensatz zur Hintereinanderschaltung bildet die Parallelschaltung (Schaltung auf Stromstärke), bei der alle positiven und alle negativen Pole untereinander verbunden werden.

Die Verwendbarkeit der Akkumulatoren wird durch ihren hohen Preis und ihr im Verhältnis zur Leistung großes Gewicht beeinträchtigt. 1 kg Totalgewicht leistet etwa 2,5 bis 5 Amperestunden, je nach Größe und Beanspruchung, oder, wenn man die mittlere Entladespannung zu 1,9 Volt annimmt, 4,75 bis 9,50 Wattstunden. Noch mehr fällt aber der geringe Wirkungsgrad und die kurze Lebens-

Abb. 62. Akkumulatorzelle mit 20 positiven und 21 negativen Platten.

dauer der Akkumulatoren ins Gewicht. Von den in die Batterie hineingeladenen Amperestunden werden bei der Entladung nur 90% wiedergewonnen. Da aber die Spannung während der Ladung wesentlich höher sein muß als während der Entladung, so ist der Wirkungsgrad in bezug auf die Kilowattstunden nur 75%. Die Lebensdauer der Platten ist abhängig von der Benutzung, d. h. von der Zahl der Ladungen und Entladungen. Bei der üblichen Beanspruchung und bei sorgfältiger Wartung kann man für die positiven Platten mit einer Lebensdauer von 6 Jahren rechnen; die negativen halten meist länger.

Während der Ladung ist die Spannung beträchtlich höher als bei der Entladung. Diesem Umstande muß die Gleichstromdynamomaschine Rechnung tragen. Arbeitet z. B. die elektrische Anlage mit einer Betriebsspannung von 220 Volt, dann sind $\frac{220}{1{,}82} = 120$ Zellen erforderlich. Während der Ladung steigt die Spannung von 2,10 bis 2,40 Volt. Von Zeit zu Zeit muß die Batterie sogar überladen werden, um Sulfatbildung zu verhindern, und hierbei steigt die Spannung bis über 2,70 Volt pro Zelle. Die Gleichstrommaschine muß statt der sonst im Betriebe üblichen Spannung von 220 bis 230 Volt 288 und zeitweilig bis über 300 Volt erzeugen können. Da die Ladestromstärke meist wesentlich geringer ist als die volle Stromstärke der Dynamo, so bietet es keine Schwierigkeit, Gleichstrommaschinen für diese veränderliche Spannung zu bauen. Muß das Leitungsnetz während der Ladung im Betrieb sein, dann ist die Ladung der Batterie mit einer Dynamo unzulässig, weil Lampen und Motore die höhere Lade

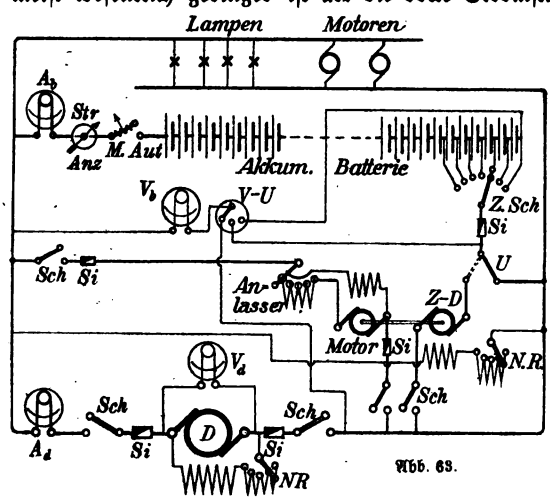


Abb. 63.

spannung nicht vertragen. In solchen Fällen verwendet man eine Zusatzmaschine, deren Stromstärke der Ladestromstärke der Batterie entspricht und die so gebaut ist, daß sie durch allmählich stärker werdende Erregung ihrer Magnete die erforderliche Zusatzspannung erzeugen kann. Diese Zusatzmaschine wird mit der Hauptmaschine in Serie (d. h. hintereinander) geschaltet. Arbeitet die Hauptmaschine mit 220 Volt, dann muß jene bei Beginn der Ladung 30 Volt, gegen Ende der Ladung 70 Volt und bei der zeitweiligen Überladung 85 Volt Spannung erzeugen. Wird eine Zusatzmaschine durch einen Elektromotor angetrieben, so wird ein solcher Maschinensatz vielfach Ladetransformator genannt. Da die Zusatzmaschine mit stark veränderlichem Magnetfeld arbeiten muß, so ist die Anwendung von Hilfspolen (Wendepolen) sehr zu empfehlen. Abb. 63 zeigt das Schaltungsschema einer Gleichstromanlage, bestehend aus einer Nebenschlußdynamo D, einer Akkumulatorenbatterie B, einem Ladetransformator (Zusatzmaschine ZD gekuppelt mit Motor) und allen zugehörigen Apparaten.

Abb. 64. Runder Zellenschalter.

Abb. 65. Zellenschalter, gestreckte Form.

Bei der fortschreitenden Entladung sinkt die Spannung, zuerst sehr schnell von 2,1 auf 2 Volt, dann allmählich auf 1,82 Volt. Soll also die Batterie mit der Hauptmaschine parallel arbeiten, sei es zur Unterstützung, sei es als Momentreserve, oder soll sie allein Lampen und Motoren speisen, dann genügen zunächst $\frac{220}{2{,}10} = 105$ Zellen, sehr bald aber sind $\frac{220}{2{,}0} = 110$ Zellen und gegen Ende der Entladung $\frac{120}{1{,}82} = 120$ Zellen erforderlich. Es sind also Zellenschalter notwendig, d. h. Apparate, welche es ermöglichen, mehr oder weniger Zellen einzuschalten. Schematisch ist der Zellenschalter ($ZSch$) in Abb. 63 angedeutet; die praktische Ausführung zeigen die Abb. 64 (runde Form) und 65 (gestreckte Form).

Arbeitet der Zellenschalter selbsttätig, dann spricht man von einem „selbsttätigen Antrieb". Ein kleiner Elektromotor wird durch Relais derart geschaltet, daß er rechts oder links herum läuft. Durch eine entsprechende Verbindung mit der Spindel des Zellenschalters bewirkt er dann eine Verminderung oder Vermehrung der eingeschalteten Zellen.

Vielfach findet man in Akkumulatorenanlagen noch sog. Minimalausschalter (selbsttätige Schwachstromausschalter, Nullausschalter), welche die Dynamo und auch die Batterie davor schützen sollen, daß bei etwaigem Versagen der ersteren ein starker Strom von der Batterie in umgekehrter Richtung durch die Dynamo fließt. Im wesentlichen besteht dieser Apparat aus dem Elektromagneten *M*, dem Schalthebel *Sch* aus Kupfer oder Messing und dem unten gegabelten eisernen Handhebel *H* (Abb. 66). Fließt ein Strom von entsprechender Stärke in der durch den Pfeil gekennzeichneten Richtung, so wird der Eisenhebel *H* durch den Elektromagneten gehalten. Geht die Stromstärke beinahe auf Null zurück, dann fällt der Hebel *H* ab. Sobald er sich um den ∢ α gedreht hat, berührt er bei *a* den mit dem Schalthebel verbundenen Teil *b*, und der Schalthebel wird mit entsprechender Geschwindigkeit aus dem Schaltkontakt *c* herausgerissen.

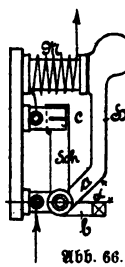


Abb. 66.

Diese Apparate haben den Nachteil, daß der Hebel *H* nicht festgehalten wird, wenn beim Anfang und beim Schluß des Betriebes von der Dynamo nur wenig Strom in das Leitungsnetz abgegeben wird. Besser ist es jedenfalls, Batterie und Dynamo durch einen Starkstromausschalter, (*MAut*, Maximalautomaten, Abb. 64), zu schützen, der dann zur Wirkung kommt, wenn die Stromstärke das für die Batterie zulässige Maß überschreitet.

Trotz ihrer Mängel haben die Akkumulatoren eine große Verbreitung gefunden, denn sie sind für den Betrieb außerordentlich wertvoll:

1. als immer bereite Momentreserve;

2. zur Unterstützung des Maschinenbetriebes, wenn die Leistung der Maschinen unzureichend ist;

3. zur selbständigen Stromlieferung während der Zeit geringen P darfes;

4. zum Ausgleich von Belastungsschwankungen, bei Straßenbahne Förderanlagen usw.

Akkumulatoren, welche zum Ausgleich von Belaſtungsſchwankungen dienen, heißen „Pufferbatterien“. Auch zum Betrieb von Automobilen und Eiſenbahnwagen werden heute vielfach Akkumulatoren verwendet, trotz ihres großen Gewichtes und ihrer geringen Lebensdauer, denn der Elektromotor hat gerade für den Antrieb von Fahrzeugen große Vorzüge.

Bei den ſog. Ediſon-Akkumulatoren beſteht die wirkſame Maſſe der poſitiven Platte aus Nickelhydroxydul, die der negativen Platte aus einer Eiſen-Sauerſtoff-Verbindung. Die wirkſamen Maſſen ſind in Behälter aus vernickeltem Stahlblech eingebettet. Auch das äußere Gehäuſe beſteht aus Stahlblech. Als Elektrolyt dient reine Kalilauge mit einem Zuſatz von Lithiumhydroxyd. Die Ladeſpannung einer Zelle beträgt 1,50 bis 1,85 Volt, die Entladeſpannung 1,40 bis 1,05, im Mittel 1,20 Volt.

Infolge ſeines geringeren Gewichtes und ſeiner größeren Unempfindlichkeit gegen Erſchütterungen wird der Ediſon-Akkumulator hauptſächlich für transportable Zwecke verwendet. (Deutſche Ediſon-Akkumulatoren-Companie, Berlin, N 20).

Stromverteilung, Leitungen und Apparate.

Gleichſtrom.

Zunächſt ſei daran erinnert, daß:

E die elektriſche Spannung in Volt,
J die elektriſche Stromſtärke in Ampere,
W den elektriſchen Widerſtand in Ohm

bedeuten, und daß

die elektriſche Leiſtung A = dem Produkt aus Spannung und Stromſtärke $A = E \cdot J$ iſt.

Da nun J nach dem Ohmſchen Geſetz gleich $\frac{E}{W}$ iſt, ſo kann man auch ſetzen:

$$A = \frac{E \cdot E}{W} = \frac{E^2}{W};$$

$E = J.W$ iſt, ſo iſt auch $A = J \cdot W \cdot J = J^2 W$.

Der in jeder Leitung auftretende Energieverluſt hängt in erſter Linie n dem Material ab. Der Verluſt wächſt mit der zunehmenden Länge d ſinkt mit dem wachſenden Querſchnitt der Leitung.

Abgesehen vom Aluminium, das durch sein geringes Gewicht einen gewissen Vorteil bietet, das aber auch den Nachteil der schwierigen Bearbeitung hat, kommt praktisch für Leitungsanlagen nur Kupfer (Cu) in Betracht, dessen spezifischer Widerstand = 0,0172 = $^1/_{58}$ ist. Mit Rücksicht auf die unvermeidliche Unreinheit des Materials wird allgemein $^1/_{57}$ angenommen. Der reziproke Wert = 57 wird das spezifische Leitvermögen des Kupfers genannt. Während des Krieges sind als Ersatz für das fehlende Kupfer vielfach Aluminium, Zink und Eisen verwendet worden.

In einem geschlossenen Stromkreise ist die Stromstärke an allen Stellen gleich. Der Verlust zeigt sich darin, daß die Spannung an der Verbrauchsstelle (Ende der Leitung) geringer ist als an der Erzeugungsstelle (Anfang der Leitung). Die Hauptspannung ist mit E, der Spannungsverlust mit e in Volt bezeichnet. Unter der Länge der Leitung ist die Hin- und Rückleitung zu verstehen:

l = Länge der Hin- und Rückleitung in Metern,
q = Querschnitt der Leitung in Quadratmillimetern.

Wenn der Spannungsverlust gegeben ist, dann ist der Querschnitt der Leitung q:

$$q = \frac{J \cdot l}{57 \cdot e} \left(\frac{\text{Stromstärke} \times \text{Leitungslänge}}{\text{Leitvermögen} \times \text{Spannungsverlust}} \right)$$

oder der Spannungsverlust:

$$e = \frac{J \cdot l}{57 \cdot q} \left(\frac{\text{Stromstärke} \times \text{Leitungslänge}}{\text{Leitvermögen} \times \text{Querschnitt.}} \right)$$

Aus diesen Formeln ist zu erkennen, welchen Wert die Stromstärke J für die Energieübertragung hat. Bei einem bestimmten Leitungsquerschnitt ist der Verlust proportional der Stromstärke. Rechnet man aber den Verlust nach Prozenten der zu übertragenden Energiemenge, dann findet man, daß der Verlust quadratisch mit der Stromstärke wächst.

Beispiel: Es sind auf 1000 Meter Entfernung 100 PS = 73 600 Watt, bei 92% Wirkungsgrad des Motors = 80 000 Watt zu übertragen. Die Spannung an der Verbrauchsstelle soll im ersten Fall a) 200 Volt, im zweiten Falle b) 1000 Volt betragen. Der Spannungsverlust wird mit 10%, also bei a) mit 20 Volt, bei b) mit 100 Volt angenommen.

Die Stromstärke ist bei a) $= \frac{80\,000 \text{ Watt}}{200 \text{ Volt}} = 400$ Amp.,

bei b) $= \frac{80\,000 \text{ Watt}}{1000 \text{ Volt}} = 80$ Amp.

a) Querschnitt der Leitung $q = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 400}{57 \cdot 20} =$ rund 700 qmm.

b) „ „ „ $q = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 80}{57 \cdot 100} =$ rund 28 qmm.

Während sich die Spannungen verhalten wie 1 : 5, verhalten sich die Querschnitte wie $5^2 : 1 = 25 : 1$.

Die Anordnung a) bedingt einen Aufwand an Leitungskupfer von 12000 kg, die nach dem jeweiligen Kupferpreis 18000 bis 24000 ℳ kosten.[1]) Eine Kraftübertragung von 100 PS mit 220 Volt Spannung wird also auf 1 km Entfernung nur unter ganz besonderen Verhältnissen wirtschaftlich durchführbar sein, während bei der Anordnung b) die Kosten des Leitungskupfers für die gleiche Leistung (720 bis 1000 ℳ) kaum eine Rolle spielen.

Das Bestreben der Elektrotechniker, möglichst hohe Spannungen für Kraftübertragung zu verwenden, ist hiernach wohl verständlich, zumal die Anforderungen in bezug auf Leistungen und Entfernungen immer größer werden.

Ursprünglich war mit Rücksicht auf die Edisonglühlampen, die nur für 110 Volt hergestellt wurden, diese Spannung für Gleichstrom am gebräuchlichsten. Für kleine Licht- und Kraftanlagen wird sie auch heute noch verwendet. Die Glühlampen und Motoren werden alle parallel vom Leitungsnetz abgezweigt. Die Bogenlampen werden zu zweien hintereinandergeschaltet, wenn sie mit 40 Volt Lichtbogenspannung arbeiten (Abb. 67).

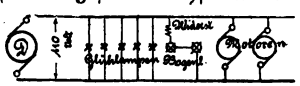


Abb. 67.

Der erste Schritt zur Erhöhung der Spannung war die Ausbildung des „Dreileitersystems" (Abb. 68). Zwei Stromerzeuger sind hintereinandergeschaltet, d. h. ihre ungleichnamigen Pole sind miteinander verbunden. Von dieser Verbindung wird der sog. „Mittelleiter" abgezweigt. Sind die beiden Hälften des Dreileitersystems gleichmäßig belastet, dann ist die Stromstärke im Mittelleiter gleich Null. Sind sie ungleich belastet, dann fließt durch den Mittelleiter eine Stromstärke, die gleich dem Unterschied der Stromstärken in den beiden Außenleitern ist. In einem ordnungsmäßig her-

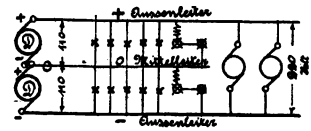


Abb. 68.

1) Der Berechnung sind Durchschnittspreise aus der Zeit vor dem Kriege zu Grunde gelegt.

gestellten Dreileiternetz rechnet man im Höchstfalle mit einer Belastung des Mittelleiters von 10% der Stromstärke der Außenleiter. Der Spannungsabfall im Mittelleiter darf nur sehr gering sein, denn er vermindert die Spannung auf der mehr belasteten und erhöht sie auf der geringer belasteten Seite.

Glühlampen und Bogenlampen werden zwischen Außenleiter und Mittelleiter geschaltet, Motoren nur zwischen die Außenleiter; letztere belasten also den Mittelleiter nicht.

Seitdem man Glühlampen für 220 Volt baut, ist die Spannung des Dreileitersystems verdoppelt worden: $2 \cdot 220 = 440$ Volt. Mit dieser Spannung werden jetzt die meisten Gleichstromelektrizitätswerke Deutschlands betrieben. Die Hintereinanderschaltung der beiden Dynamos wird heute nur selten verwendet. Soweit Akkumulatoren zur Anwendung gelangen, benutzt man sie zur Bildung des Dreileitersystems (Abb. 69), oder es werden zur Spannungsteilung zwei kleine Maschinen von halber Spannung, Ausgleichmaschinen genannt, aufgestellt (Abb. 70).

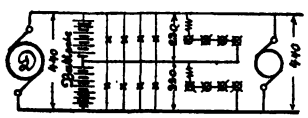


Abb. 69.

A ist der Hauptstromerzeuger, *B* und *C* sind die Ausgleichmaschinen. Wenn die + Seite mehr belastet ist, dann arbeitet die Maschine *B* als Stromerzeuger, d. h. sie wird von *C*, die dann als Motor arbeitet und mit ihr unmittelbar gekuppelt ist, angetrieben. Ist die — Seite mehr belastet, dann wechselt die Arbeitsweise der Ausgleichmaschinen. Eine normale Gleichstromdynamo läßt sich zur Speisung eines Dreileiternetzes geeignet machen dadurch, daß man sie mit einem „Spannungsteiler" ausrüstet. Zwei gegenüberliegende Punkte der Ankerwicklung werden mit Schleifringen verbunden, und an diese wird eine Drosselspule *Dr Sp* angeschlossen, von deren Wicklungsmitte der Mittelleiter abgezweigt ist (Abb. 71).

In einzelnen Industriezweigen, wie Papierfabriken, Kattundruckereien usw, in denen eine starke Veränderung der Drehzahlen der Motoren verlangt wird, ist das Dreileitersystem verwendet

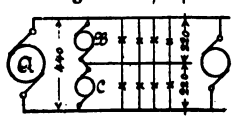


Abb. 70.

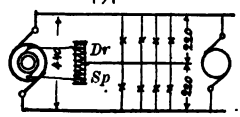


Abb. 71.

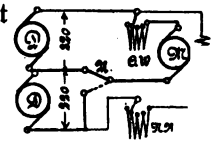


Abb. 72.

worden, um diesen Motoren verschiedene Spannung zuzuführen (Abb. 72). Durch diese Anordnung wird die Änderung der Drehzahl eines Gleichstrommotors im Verhältnis 1 : 4 erleichtert. Gesetzt, der Motor sei für 440 Volt und 500 bis 1000 Umläufe in der Minute gebaut. Wird der Anker durch den Umschalter *U* auf 220 Volt geschaltet und das Magnetfeld stark erregt, dann beträgt die Drehzahl 250. Durch Schwächen des Magnetfeldes kann sie auf 500 in der Minute gesteigert werden. Schaltet man nun den Motor mit stark erregtem Feld auf 440 Volt, dann macht er ebenfalls 500 Umdrehungen, die durch Schwächen des Magnetfeldes auf 1000 in der Minute gebracht werden können.

Das Dreileitersystem ist noch weiter zu einem Fünfleitersystem ausgebildet worden. Der Betrieb des Fünfleitersystems bietet aber so viele Schwierigkeiten, daß es eine größere Verbreitung nicht gefunden hat.

Ist in einer Fabrik eine größere Gleichstrom-Kraft- und -Lichtanlage mit 220 Volt Betriebsspannung vorhanden und soll in einer Entfernung von etwa 750 m ein kleinerer Betrieb mit insgesamt 22 Kilowatt, = 100 Amp. · 220 Volt, versorgt werden, dann ist es zweckmäßig, eine sog. „Fernleitungsdynamo" in die Leitung einzuschalten. Die Magnete dieser Maschine sind mit Hauptstromwicklung versehen. Die von der Fernleitungsdynamo erzeugte Spannung ist dem Widerstande der Fernleitung anzupassen. Fließt durch die Fernleitung eine Stromstärke von 100 Amp. und ist der Leitungsquerschnitt 50 qmm, dann entsteht ein Spannungsverlust:

$$e = \frac{2 \cdot 750 \cdot 100}{57 \cdot 50} = 52{,}6 \text{ Volt.}$$

Die Fernleitungsdynamo ist so gebaut, daß sie 52,6 Volt Spannung erzeugt, wenn 100 Amp. durch die Magnete fließen. Bei 50 Amp. Stromdurchgang fällt der Spannungsverlust auf die Hälfte, aber die Dynamo erzeugt auch nur 26,3 Volt, sie gibt also immer so viel Spannung, als Verlust in der Leitung entsteht, so daß die Betriebsspannung am Ende dieser langen Leitung auch bei stark wechselnder Belastung gleich bleibt (Abb. 73).

Zur Verwendung gelangen derartige Hilfsmaschinen (auch Booster genannt) hauptsächlich bei Straßenbahnen. Die

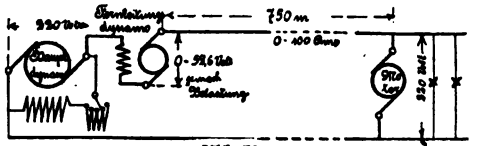


Abb. 73.

Spannung von 500 Volt Gleichstrom würde für die Versorgung der entfernten Strecken sehr große Leitungsquerschnitte erfordern.

Als besonderes System zur Erzielung hoher Gleichstromspannungen sei noch das von Thury erwähnt, das vereinzelt in der Schweiz und in Frankreich zur Anwendung gelangt ist. Im Kraftwerk werden mehrere Stromerzeuger mit Hauptstromwicklung hintereinandergeschaltet; z. B. 10 Maschinen von je 2000 = 20000 Volt Betriebsspannung. Die zu betreibenden Motoren müssen auch alle hintereinandergeschaltet und für gleichbleibende Stromstärke gebaut werden. Ist die Stromstärke 150 Amp., dann nimmt ein 5pferdiger Motor nur 30 Volt Spannung auf, muß aber für 20000 Volt isoliert werden. Die hohe Spannung verursacht schwierige Betriebsverhältnisse, und da außerdem Lichtstrom nicht unmittelbar abgegeben werden kann, wird das System Thury nur auf einzelne besondere Fälle beschränkt bleiben.

Wechsel- und Drehstrom.

Bei Verwendung von Wechsel- oder Drehstrom ist man in der Wahl der Spannung unabhängig; deshalb eignen sich diese Stromarten ganz besonders für räumlich ausgedehnte Elektrizitätswerke (Überlandzentralen). Wechsel- und Drehstromgeneratoren ermöglichen an sich schon die Erzeugung sehr hoher Spannungen: 10 bis 15000 Volt. Wo diese nicht ausreichen, bietet sich in den Transformatoren ein billiges und bequemes Mittel, um:

1. die von den Maschinen erzeugte Spannung zu erhöhen. Die Fernleitung Lauchhammer Werk—Riesa arbeitet z. B. mit 100000 Volt;

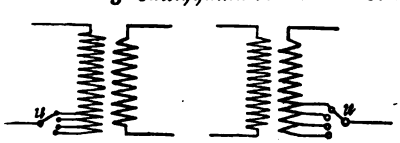


Abb. 74. Abb. 75.

2. die hohe Spannung der Fernleitung wieder auf die geeignete Betriebsspannung: 110, 220 oder 500 Volt herabzusetzen.

Außerdem läßt sich eine gewisse Spannungsregulierung mit Hilfe der Transformatoren dadurch erzielen, daß man vermittels Stufenschalter das Übersetzungsverhältnis, d. h. die Zahl der Windungen ändert. (Reguliertransformator, Abb. 74 Anzapfungen auf der Hochspannungsseite; Abb. 75 Anzapfungen auf der Niederspannungsseite)

Die Berechnung des Leitungsquerschnittes und des Spannungsverlustes ist für Wechselstrom dieselbe wie für Gleichstrom. Bei der Bestimmung der Stromstärke ist der Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) zu berück-

sichtigen. Ist der Leistungsfaktor, wie das meistens der Fall ist, kleiner als 1, so wird die Stromstärke bei gleicher Leistung größer als bei Gleichstrom.

Bei Drehstrom ist die Ermittlung der Stromstärke etwas umständlicher, weil die Verkettung zu berücksichtigen ist. Nach dem früher Gesagten ist die gesamte Leistung: $A = \sqrt{3}\ EJ$; danach ist $J = \frac{A}{\sqrt{3} \cdot E}$. Ist ein Leistungsfaktor ($\cos\varphi$) zu berücksichtigen, dann ist die Stromstärke $J = \frac{A}{\sqrt{3} \cdot E \cos\varphi}$. Z. B. $A = 80000$ Watt, $E = 1000$ Volt, $\cos\varphi$ 0,77 also $J = \frac{80000 \text{ Watt}}{\sqrt{3} \cdot 1000 \text{ Volt} \cdot 0{,}77} = 60$ Amp.

Ist die Stromstärke gefunden, so berechnet man den Leitungsquerschnitt am einfachsten nach der Formel $q = \frac{3 J^2 \cdot l}{c \cdot w}$, worin J = Stromstärke, l = einfache Länge der Leitung, c = den spezifischen Widerstand des Kupfers und w = den Leistungsverlust in Watt bezeichnet. Es sollen nach dem früheren Beispiel 80000 Watt mit 10% Verlust (8000 Watt) übertragen werden; $l = 1000$ m, dann ist

$$q = \frac{3 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 1000 \text{ m}}{57 \cdot 8000} = 23{,}7 \text{ qmm}.$$

Also sind für Drehstrom mit einem Leistungsfaktor von $\cos\varphi = 0{,}77$ drei Leitungen von je 23,7 qmm zusammen 71 qmm erforderlich, bei Gleichstrom dagegen zwei Leitungen von je 28 qmm = 56 qmm.

Würde der Leistungsfaktor bei der Drehstromübertragung statt 0,77 = 1 sein, z. B. bei Verwendung eines Synchronmotors, dann würde die Stromstärke nur $60 \cdot 0{,}77 = 46{,}2$ Amp. und der Leitungsquerschnitt nur $23{,}7 \cdot 0{,}77 \cdot 0{,}77 = 14$ qmm betragen. Die Summe der drei Leitungen wäre = 42 qmm, gegenüber 56 qmm bei Gleichstrom. Der Drehstrom ohne Phasenverschiebung erfordert also den geringsten Leitungsquerschnitt.

Ausführung der Leitungen.

Je nach der Verlegungsart unterscheidet man folgende Leitungen:

1. im Freien verlegte Leitungen: Luftleitungen, Freileitungen,
2. im Erdboden verlegte Leitungen: unterirdische Leitungen, Erdkabel,
3. in Räumen verlegte Leitungen: Innenleitungen.

Freileitungen. Als Material dafür kommen hauptsächlich blanke Kupferdrähte oder Kupferseile in Betracht. Nur da, wo Berührung zwischen Starkstrom und Schwachstromleitungen zu fürchten ist, werden die ersteren mit einer wetterbeständigen Isolierung (mit Leinöl und Mennige getränkte Umspinnung) versehen, soweit sie nur Niederspannung bis 250 Volt führen. Für Hochspannungsleitungen ist **blanker** Draht vorgeschrieben. Die Befestigung der Freileitungen geschieht an Glockenisolatoren aus Porzellan, die ihrerseits wieder durch eiserne Stützen mit den Leitungsträgern verbunden sind. Bis zu 3000 Volt können die für Telegraphenleitungen üblichen Doppelglocken verwendet werden (Ab. 76), darüber hinaus nur sog. **Deltaglocken** (Abb. 77 und 78). Für Spannungen über 50000 Volt werden meist Hängeisolatoren, die aus mehreren Isolatoren zusammengesetzt sind, verwendet.

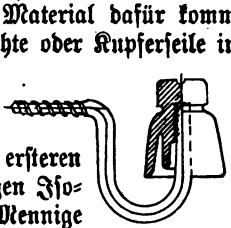


Abb. 76. Abb. 77. Abb. 78.

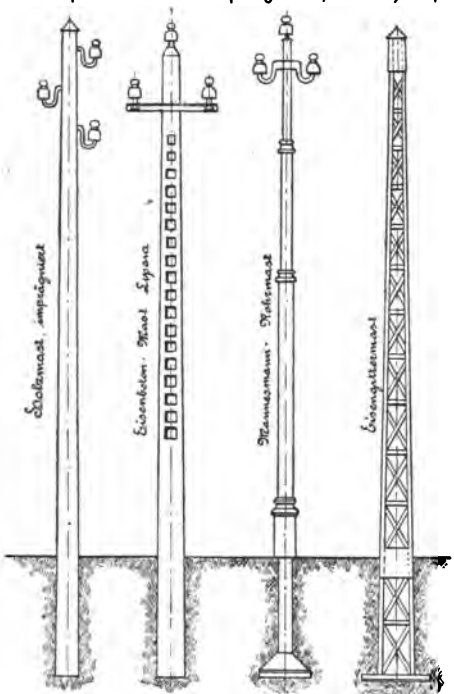


Abb. 79. Abb. 80. Abb. 81. Abb. 82.

Als Träger für die Freileitungen dienen:

1. Holzmaste von 14—18 cm Zopfstärke, 8—12 m Länge, die mit Quecksilbersublimat oder ähnlichen fäulnisverhindernden Stoffen getränkt sind;

2. Eisenmaste, und zwar: Rohrmaste (Mannesmannrohre), Gittermaste aus Winkel- und U-Eisen;

3. Eisenbetonmaste: a) Schleuderrohrmaste mit kreisrunden

Querschnitt, b) Lipsiabetonmaste mit rechteckigem Querschnitt und Aussparungen (Abb. 79—82).

Im festen Boden werden die Maste auf etwa $^1/_5$ ihrer Länge eingegraben. In weichem Boden oder an den Stellen, wo große Zugkräfte auftreten, wird der Fuß des Mastes außerdem mit einem Betonsockel umgeben. Der Abstand der Leitungsständer beträgt im allgemeinen 35 bis 40 m. Doch geht man in neuerer Zeit, besonders bei Hochspannungsleitungen, auf die doppelte Entfernung, selbst über 100 m hinaus.

Der Abstand der Leitungen untereinander richtet sich nach der Spannung und nach der Entfernung der Leitungsträger: 25—100 cm.

Unterirdische Leitungen. Sie bestehen, soweit sie isoliert sein müssen, ausschließlich aus Bleikabeln. Die geerdeten Mittelleiter des Dreileitersystems oder die Nulleiter in Drehstromanlagen werden meist als blanke, verzinnte Kupferleitungen in die Erde gelegt.

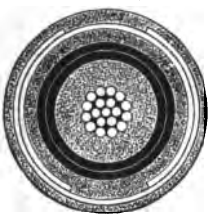


Abb. 83. Querschnitt eines einadrigen Bleikabels.

Die Konstruktion der Bleikabel ist folgende: Der aus einem Draht oder aus mehreren verseilten Kupferdrähten bestehende Leiter ist mit getränkter Jutefaser oder Papier umwickelt, dann mit einem oder zwei nahtlosen Bleimänteln umpreßt, mit geteertem Juteband und zweifach mit Eisenband spiralförmig umwickelt. Das letztere ist vielfach nochmals durch geteertes Juteband gegen Rosten geschützt. Wenn das Kabel größere Zugbeanspruchungen auszuhalten hat, dann tritt an die Stelle der Eisenbandwicklung eine Bewehrung aus verzinkten Eisendrähten. Für Gleichstrom werden meist Einleiterkabel verwendet (Abb. 83 und 84). Bei Wechselstrom und Drehstrom

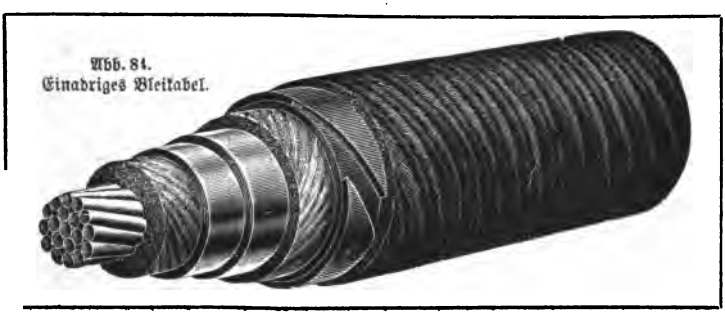


Abb. 84.
Einadriges Bleikabel.

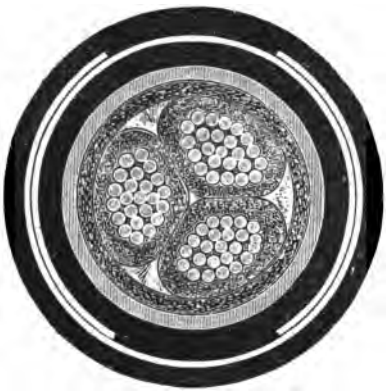


Abb. 85 Querschnitt eines dreiadrigen Bleikabels.

Abb. 86. Endverschluß eines dreiadrigen Bleikabels.

müssen die zwei oder drei Adern in einem Kabel vereinigt werden (Abb 85). Bis zu Spannungen von 25000 Volt kann man heute sicher derartige Bleikabel verwenden, versuchsweise sind sogar Kabel für 60000 Volt verlegt worden.

Sehr wichtig ist für die Hochspannungskabel die sorgfältige Herstellung der Verbindungen und der wasserdichte Abschluß der Enden. Für erstere werden geteilte Muffen, für letztere sog. Endverschlüsse verwendet, die nach der Herstellung der elektrischen Verbindung mit einer erwärmten Isoliermasse wasserdicht ausgegossen werden (Abb. 86).

Innenleitungen. Die im Innern der Gebäude verlegten Leitungen bestehen bis zu 16 qmm Querschnitt aus Kupferdrähten, darüber hinaus aus Kupferseilen, die mit nahtlosem Gummi umpreßt sind. Diese Isolierschicht wird noch durch eine Baumwollumspinnung und -umflechtung gegen Beschädigung geschützt. Ist dieser Schutz unzureichend, so verwendet man eine Umflechtung aus verzinkten Stahldrähten oder Lederriemen.

Die Innenleitungen werden entweder an Porzellanrollen befestigt oder in Isolierrohren verlegt. Letztere bestehen aus aufgewickeltem Papier, das mit Isoliermasse getränkt und mit verbleitem Eisenblech, Messingblech oder auch mit Stahlrohr umkleidet ist (Stahlpanzerrohr). Diese Rohre werden auf die Wände und Decken gelegt (offene Verlegung) oder in das Mauerwerk eingelassen (Verlegung unter Putz). In Wohnräumen werden häufig Rohrdrähte, System Kuhlo verwendet, weil sie nicht so stark sind, wie die Isolierrohre. Bei diesen

Drähten sind die Gummiaderleitungen mit einem Metallmantel aus Messing oder verzinntem Eisen umgeben.

Für die sachgemäße Ausführung der vorgenannten Leitungen hat der Verband deutscher Elektrotechniker besondere Vorschriften aufgestellt (Verlag von Julius Springer, Berlin), aus denen hier nur das Wichtigste mitgeteilt sei:

§ 3. Alle gegen Erde unter Spannung stehenden Teile müssen gegen zufällige Berührung geschützt, und die der Berührung ausgesetzten, zu einer Hochspannungsanlage gehörigen, Konstruktionsteile müssen gut leitend mit der Erde verbunden, (geerdet), sein.

§ 4. Um den Übertritt von Hochspannung in Stromkreise für Niederspannung zu verhindern, sind geeignete Maßnahmen zu treffen. (Siehe Spannungssicherungen S. 56.)

§ 5. Jede Starkstromanlage muß einen angemessenen Isolationswiderstand haben. Er soll mindestens betragen: 1000 Ohm multipliziert mit der Voltzahl der Betriebsspannung, z. B. 500000 Ohm bei 500 Volt Betriebsspannung.

§§ 6, 7, 8 behandeln Aufstellung von Maschinen, Transformatoren und Akkumulatoren.

§ 9. Schalt- und Verteilungsanlagen.

§§ 10—15 Apparate: Ausschalter, Umschalter, Anlasser, Widerstände, Sicherungen und Meßgeräte.

§§ 16—18. Glühlampen, Bogenlampen und Beleuchtungskörper.

§ 20. Leitungen: Bemessung der Leitungen:

Elektrische Leitungen sind so zu bemessen, daß sie bei den vorliegenden Betriebsverhältnissen genügende mechanische Festigkeit besitzen und keine unzulässige Erwärmung annehmen. Isolierte, nicht im Erdboden verlegte, Leitungen aus Leitungskupfer sollen höchstens mit den in der nachstehenden Tabelle verzeichneten Stromstärken bel stet werden:

Querschnitt in qmm	0,75	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95
Höchstzulässige Stromstärke in Amp	9	11	14	20	25	31	43	75	100	125	160	200	240
Nennstromstärke der Abschmelzsicherung in Amp.	6	6	10	15	20	25	35	60	80	100	125	160	190

Querschnitt in qmm	120	150	185	240	310	400	500	625	800	1000
Höchstzulässige Stromstärke in Amp.	280	325	380	450	540	640	760	880	1050	1 250
Nennstromstärke der Abschmelzsicherung in Amp.	225	260	300	360	430	500	600	700	850	1000

Für die im Freien und im Erdboden verlegten Leitungen enthalten die Sicherungsvorschriften keine Bestimmungen. Nach den üblichen Formeln für die Erwärmung sind folgende Belastungen zulässig:

Querschnitte qmm	Im Freien verlegt: Amp.	Im Erdboden verlegt: a) Einleiterkabel für bis 700 Volt Amp.	b) Dreileiterkabel für bis 3000 Volt Amp.	c) Dreileiterkabel für bis 10000 Volt Amp.
4	46	55	37	
6	60	70	47	
10	86	95	65	60
16	118	130	85	80
25	162	170	110	105
35	206	210	135	125
50	266	260	165	155
70	340	320	200	190
95	420	385	240	225
120	500	450	260	260
150	590	510	315	300
185	690	575	360	340
240	830	670	420	
310	1000	785	490	

Bei Anordnung von Kabeln in Kanälen und bei Anhäufung von Kabeln im Erdboden ist die Höchstbelastung auf $^3/_4$ der obigen Werte zu ermäßigen.

§ 21. Allgemeines über Leitungsverlegung.
§§ 22, 23 Leitungen und Installationen im Freien.
§ 24. Leitungen in Gebäuden.
§§ 25, 26. Isolier- und Befestigungskörper, Rohre.
§§ 26—36. Behandlung der verschiedenen Räume: Betriebsräume, feuchte Räume, feuer- und explosionsgefährliche Räume, Schaufenster, Warenhäuser.
§ 37. Provisorische Einrichtungen.
§§ 38, 39. Theater und gleichzustellende Versammlungsräume.
§§ 40—46. Bergwerksanlagen.

Ähnliche Vorschriften hat der Verband deutscher Elektrotechniker erlassen für die Einrichtung elektrischer Bahnanlagen und auch für den Betrieb elektrischer Anlagen (Betriebsvorschriften), ferner für die Bewertung und Prüfung elektrischer Maschinen und Transformatore

Die für die Leitungen erforderlichen Apparate sind im wesentlich 1. Schalter, 2. Sicherungen, 3. Schutzapparate gegen atmosphärische Entladungen oder gegen die in den Leitungen auftretenden Überspannung

Schalter.

Schaltapparate dienen dazu, die Leitungen nach Belieben mit einer Stromquelle oder mit einem Stromverbraucher zu verbinden oder von ihnen zu trennen. Ein guter Schalter muß folgende Forderungen erfüllen:

1. Die Kontakte müssen für die durchfließenden Stromstärken genügend stark bemessen sein, um eine Erwärmung zu vermeiden;

2. der bei der Trennung der Kontakte auftretende Lichtbogen muß sofort erlöschen.

Für kleine Stromstärken und Niederspannung sind diese Forderungen leicht zu erfüllen. Abb. 87 stellt einen Drehschalter in einfacher Ausführung dar: P ist die Platte aus Steingut oder Porzellan, k_1 bis k_4 sind Kontaktstücke aus Messing, k_1 und k_3 sind mit der Leitung verbunden. f ist eine Feder aus dünnem hartgezogenem Messing, die in der Achse a befestigt ist. Letztere trägt den isolierten Griff G. Wird dieser in der Pfeilrichtung gedreht, dann schnellt die Feder auf die Kontakte k_1 und k_3 und verbindet die Leitungsdrähte. Bei weiterer Drehung findet die Trennung statt, und infolge der Geschwindigkeit, mit der die Feder von einem Kontakt zum andern springt, ist die Funkenbildung gering.

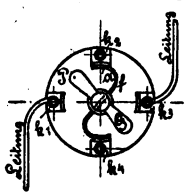


Abb. 87.

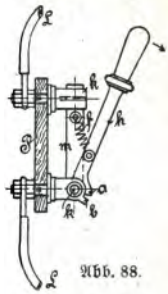


Abb. 88.

Für größere Stromstärken wird das eigentliche Schaltstück (Schaltmesser, Schalthebel) mit dem Betätigungshebel durch eine Feder verbunden (Abb. 88). Wird der Hebel h in der Pfeilrichtung bewegt, so wird zunächst die Feder f gespannt. Wenn der Knaggen a des Hebels h den Knaggen b des Schaltmessers m berührt, dann wird dieses durch die Feder aus dem Kontakt k herausgeschnellt.

Bei hohen Spannungen ist die Forderung des funkenlosen Ausschaltens schwer zu erfüllen. Man verwendet Ölschalter, die so genannt werden, weil die Unterbrechung unter Öl, also unter Luftabschluß, stattfindet. Die Kontakte k_1 und k_2 (Abb. 89) sind mit der oberen Gußeisenplatte G durch große Isolatoren J, die wegen der Rillen, welche die Oberfläche vergrößern und den Stromübergang erschweren, Rillenisolatoren genannt werden, verbunden. Das Leitungskupfer geht durch die Isolatoren. Die unteren Kontakte k_3 und k_4 sind vermittels ähnlicher Iso-

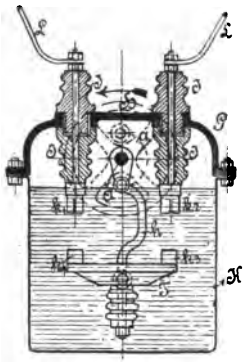


Abb. 89.

latoren an einem Träger befestigt, der durch den Hebel *h* mit der Achse *a* verbunden ist. Das Ganze ist umschlossen von dem Blechkasten *K*, der mit Öl gefüllt ist. Es darf nur reines Mineralöl verwendet werden, dessen Wassergehalt durch Kochen entfernt ist. Wird das Handrad *H* in der Pfeilrichtung gedreht, dann bewegt sich der Träger *T* mit den unteren Kontakten nach oben; der Stromkreis wird geschlossen. Bei umgekehrter Drehung findet das Ausschalten, die Trennung des Stromkreises, statt. Da keine Luft zutreten kann, ist jegliche Funkenbildung ausgeschlossen.

Ölschalter werden gebaut: a) für Handbetätigung, b) für selbsttätige Auslösung bei übermäßigem Anwachsen des Stromes (Maximalauslösung), c) für selbsttätige Auslösung beim Ausbleiben der Spannung (Minimalauslösung).

Die Auslösung geschieht in der Weise, daß die Stromspule eine Sperrklinke abzieht und dadurch eine gespannte Feder oder ein gehobenes Gewicht zur Wirkung bringt.

Sicherungen.

Unter Sicherungen versteht man Apparate, die eine selbsttätige Unterbrechung des Stromkreises durch Schmelzen eines Metallstreifens herbeiführen, sobald die Stromstärke über ein gewisses Maß hinaus wächst. Als Material für Schmelzstreifen verwendet man Blei, Kupfer, Silber und Britanniametall.

Für kleine Stromstärken und niedere Spannung wird der Schmelzstreifen in einer Patrone aus Porzellan befestigt. Die Patronensicherung muß: 1. sicher schmelzen bei der Stromstärke, für die sie gebaut ist, 2. darf sie durch die beim Schmelzen entstehende Wärmeentwicklung nicht gesprengt werden, 3. muß sie unverwechselbar sein, weil sonst der sichere Schutz des Leitungsdrahes nicht erreicht wird. Abb. 90 zeigt eine Patronensicherung der Siemens-Schuckert-Werke: *a* ist das Unterteil, *b* die Patrone, *c* der Schmelzdraht, *d* der Stöpselkopf. Bei diesen Sicherungen wird die Unverwechselbarkeit dadurch erreicht

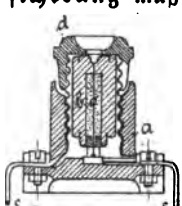


Abb. 90.

daß bei wachsender Stromstärke entweder der Durchmesser (System Diazed) oder die Länge der Patrone (Longized) zunimmt. Patronensicherungen werden bis zu 100 Amp. Stromstärke verwendet. Für größere Stromstärken kommen nur Streifensicherungen in Betracht.

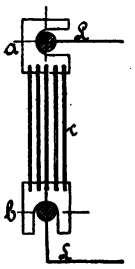


Abb. 91.

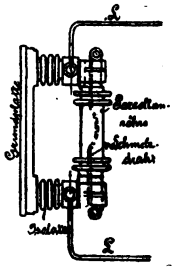


Abb. 92.

Bei Streifensicherungen ist die Leitung mit zwei Bolzen *e* und *f* verschraubt. Diese sind durch einen Schmelzeinsatz (Abb. 91) verbunden, der aus zwei Kontaktplatten *a* und *b* besteht, in welche je nach der Stromstärke ein oder mehrere Silberdrähte *c* eingelötet sind. Statt der letzteren werden zum Teil auch Bleistreifen verwendet, die zwar billiger, aber nicht so zuverlässig in der Wirkung sind.

Für Hochspannungen müssen die Schmelzstreifen sehr lang werden, weil sonst der Lichtbogen zwischen den Kontaktplatten stehen bleibt. Deshalb werden die Streifen, meist dünne Silberdrähte, in lange Porzellanröhren eingebettet (Abb. 92). Bei größeren Energiemengen werden die Sicherungen besser durch selbsttätige Ausschalter ersetzt.

Schutzapparate gegen atmosphärische Entladungen und gegen Überspannungen.

Überspannungen können entstehen: in Freileitungen, durch atmosphärische Entladungen, in Kabelleitungen, durch plötzliche Belastungsänderungen. Die Überspannungen müssen durch besondere Strombahnen zur Erde abgeleitet oder zwischen den Leitungen zum Ausgleich gebracht werden.

Diesem Zwecke dient eine große Zahl von Schutzapparaten, von denen hier nur die wichtigsten und verbreitetsten Konstruktionen besprochen werden sollen.

Die atmosphärische Elektrizität ist statischer Natur (Reibungselektrizität). Diese Elektrizität ist, im Gegensatz zu der dynamischen Elektrizität, sehr geneigt, kurze Unterbrechungen in Leitungen (Funkenstrecken) zu überspringen, als Spulenwindungen zu durchschlagen. Auf dieser Neigung beruht die Abb. 93 dargestellte Schutzvorrichtung.

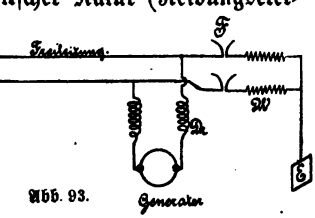


Abb. 93.

Abb. 94. Wirkung eines Hörner-Blitzableiters.

Sie dient dazu, Stromerzeuger, Transformatoren oder Motoren vor dem Eindringen der statischen Elektrizität zu schützen. Zu diesem Zweck schaltet man in die Zuleitungen Drosselspulen ohne Eisenkern (*Dr*) ein. Diese erzeugen infolge der hohen Selbstinduktion einen scheinbaren Widerstand und bewirken dadurch, daß die statische Ladung ihren Ausgleich mit der Erde durch die Funkenstrecke *F* sucht. Die Elektroden dieser Funkenstrecke sind hörnerartig ausgebildet. Der Apparat heißt deshalb Hörnerblitzableiter. Die Entfernung der Elektroden beträgt etwa 1 mm für je 1000 Volt Betriebsspannung.

Die Drosselspulen haben einen Durchmesser von etwa 20 cm. Der Abstand der Spulenwindungen (Eisen oder Kupfer) voneinander ist etwa 2 bis 3 cm. Bei Hochspannungsanlagen müssen induktionsfreie Widerstände *W* in die Verbindungsleitung zwischen Funkenstrecke und Erde eingeschaltet werden, um beim Ansprechen der Funkenstrecke ein zu großes Anwachsen der von der Maschine kommenden Stromstärke zu verhindern. Die induktionsfreien Widerstände bestehen aus Tongefäßen, die mit Wasser, in welches die Leitungsdrähte eintauchen, gefüllt sind, oder aus Tonröhren, die eine Mischung aus Carborundum und Graphit enthalten. Der sich zwischen den Hörnern bildende Lichtbogen wird durch die Erwärmung der umgebenden Luft in die Höhe getrieben, bis er schli lich abreißt (Abb. 94). Für reine Kabelnetze handelt es sich nur 1 den Ausgleich der Überspannungen zwischen den Leitern. (Abb. 9 Schema für eine Drehstromanlage.)

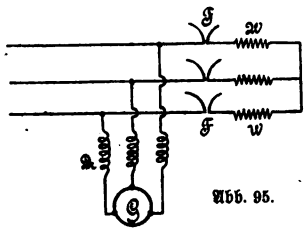


Abb. 95.

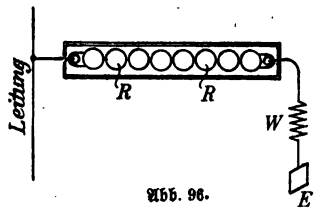


Abb. 96.

Früher wurden an Stelle der Hörnerblitzableiter Rollenfunkenableiter verwendet, bei denen der Lichtbogen durch Unterteilung und Abkühlung an den Oberflächen der Rollen zum Verlöschen gebracht wird. Abb. 96 zeigt die schematische Darstellung eines Rollenblitzableiters. *R* sind Rollen aus Metall, mit etwa 0,8 mm Abstand voneinander, und *W* ein Carborundumwiderstand.

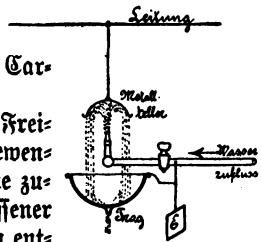


Abb. 97.

Zur dauernden Ableitung statischer Ladungen in Freileitungen werden vielfach Wasserstrahlerder angewendet (Abb. 97). Aus der Düse der Wasserleitung, die zugleich als Erdleiter wirkt, springt ein dünner, geschlossener Wasserstrahl gegen eine Metallglocke, die mit der zu entladenden Leitung verbunden ist. Der hohe ohmische Widerstand des Wasserstrahles hat den Vorteil, nur eine geringe Energiemenge nach der Erde entweichen zu lassen.

Anlaßapparate für Motoren, Anlasser.

Bereits S. 43 ist darauf hingewiesen, daß die Klemmen des Elektromotors nicht ohne weiteres mit der Stromquelle oder mit der Leitung in Verbindung gebracht werden dürfen. Der ruhende Anker erzeugt keine Gegenspannung, und da sein Widerstand gering ist, so würde die unmittelbare Verbindung mit der Stromquelle einen sog. Kurzschluß, d. h. eine unzulässig hohe Stromstärke zur Folge haben.

Um die Stromstärke auf das zulässige Maß zu mindern, schaltet man derstände vor die Ankerwicklung, und zwar so, daß sie nach dem Anfen des Motors nach und nach verringert werden können, wenn der otor Spannung (Gegenspannung) erzeugt.

Anlasser für Gleichstrommotoren.

Beim Hauptstrommotor besteht der Anlasser aus einem einfachen Stufenschalter, dessen einzelne Kontakte durch Widerstandsspiralen verbunden sind (Abb. 98). *W* ist der Anlaßwiderstand, *A* der Anker und *M* die Magnetwicklung. Wenn der Schalthebel *h* auf den Kontakt 5 gestellt wird, dann muß der Strom den gesamten Widerstand *W*, die Magnet- und Ankerwicklung, durchfließen. Die Stromstärke sinkt, sobald der Anker sich dreht, weil er Spannung erzeugt. Der Hebel wird dann auf Kontakt 4 gestellt, also ein Teil des Widerstandes ausgeschaltet; dadurch wächst augenblicklich die Stromstärke, und damit auch das magnetische Feld und die Gegenspannung. In dem gleichen Maße, wie der Motor schneller läuft, können die einzelnen Stufen des Widerstandes abgeschaltet werden, bis schließlich der Schalthebel *h* auf dem Kontakte 1 steht; man sagt, der Widerstand ist kurz geschlossen. Bei mittelgroßen Motoren dauert das Anlassen, je nach der zu leistenden Beschleunigungsarbeit, 10 bis 20 Sekunden. Das Ausschalten muß sehr schnell geschehen, um größere Funkenbildung am Kontakt 5 zu vermeiden.

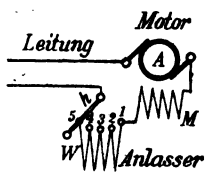


Abb. 98.

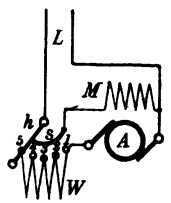


Abb. 99.

Beim Nebenschlußmotor ist der Aufbau des Anlassers etwas geändert. Um beim Anlassen ein recht starkes Magnetfeld zu erzielen, muß der Magnetwicklung sofort die volle Spannung zugeführt werden. Die schematische Darstellung ist aus Abb. 99 ersichtlich. Die Bezeichnungen sind die gleichen wie in Abb. 98: Der Schalthebel *h* gleitet außer auf den Kontakten 5 bis 1 noch auf der Schiene *s*, die unmittelbar mit der Magnetwicklung verbunden ist, so daß diese sofort die volle Spannung erhält. Das allmähliche Abschalten der Widerstandsstufen, die der Ankerwicklung vorgeschaltet sind, vollzieht sich wie beim Hauptstrommotor. Für das Ausschalten ist zu beachten, daß der Schalthebel *h* erst die Schiene *s* und dann den Kontakt 5 verläßt; im umgekehrten Falle würde beim Ausschalten der Magnetwicklung infolge des bei der Unterbrechung des Stromkreises erzeugten Extrastromes starke Funkenbildung eintreten. (Seite 14, Abb. 4) Die Spannung dieses Stromes beträgt bei einem größeren Motor der mit 500 Volt erregt ist, mehrere tausend Volt. Wird die eb

erwähnte Anordnung nicht beachtet, so ist unbedingt die Zerstörung der Isolation die Folge.

Soll ein Elektromagnetstromkreis *E* (induktiver Stromkreis) ohne den parallelgeschalteten Anker- und Anlaßwiderstand unterbrochen werden, so ist die Hinzufügung eines induktionsfreien Widerstandes *W* erforderlich (Abb. 100). Ein solcher besteht aus Drahtwindungen, die bifilar gewickelt sind und keinen Eisenkern enthalten. Bevor der Schalthebel *h* den Kontakt 1 der Elektromagnetwicklung *E* verläßt, berührt er den Kontakt 2 des induktionsfreien Widerstandes *W*. Beim Verlassen des Kontaktes 1 verläuft der Extrastrom unschädlich durch den induktionsfreien Widerstand *W*. Ein solcher Apparat wird als Magnetausschalter bezeichnet.

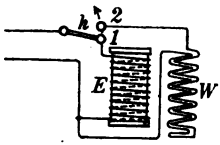


Abb. 100.

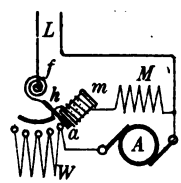


Abb. 101.

Für Verbundmotoren werden die gleichen Anlasser wie für Nebenschlußmotoren verwendet.

Häufig werden die Anlasser mit einer Einrichtung versehen, welche eine selbsttätige Ausschaltung des Motors bewirkt, sobald aus irgendeinem Grunde der Strom ausbleibt (Abb. 101). Der Schalthebel *h* trägt ein kleines Eisenstück *a*, welches durch den Elektromagneten *m* so lange gehalten wird, als der Magnetstromkreis *M* des Motors geschlossen ist. Bleibt der Strom aus, dann verschwindet die Zugkraft des Haltemagneten *m*, und die Feder *f* reißt den Hebel *h* in seine Ausschaltstellung zurück. Man nennt diese Vorrichtung Anlasser mit selbsttätiger Minimalausschaltung oder Nullspannungsauslösung. Diese Auslösung verhütet beim Wiedereinschalten des Stromes vom Kraftwerk aus die Zerstörung der Ankerwicklungen oder der dem Anker vorgeschalteten Sicherungen. Die Nullspannungsauslösung ist besonders bei ausgedehnten Anlagen zu empfehlen.

Durch selbsttätige Ausschaltung kann man den Motor auch vor Überlastung schützen. Der kleine Elektromagnet *m* liegt dann im Ankerstromkreis, und der Hebel *h* ist in seiner Einschaltstellung ırch den kleinen Ankerhebel des Elektromagneten *m* gesperrt. Steigt e Stromstärke über ein bestimmtes Maß, dann wird der Sperrbel angezogen, und der Hebel *h* geht infolge der Federkraft von *f* . seine Ausschaltstellung zurück. (Anlasser mit selbsttätiger Maximalauslösung.)

Bei der Besprechung des Gleichstrommotors wurde bereits darauf hingewiesen, daß sich seine Geschwindigkeit in weiten Grenzen ändern läßt: a) durch Hauptstromregulierung, b) durch Nebenschluß- (Feld-) regulierung, c) durch eine Verbindung dieser beiden Regulierungen.

Hauptstromregulierung. Bei der Hauptstromregulierung wird der Widerstand in die Zuleitung zum Anker eingeschaltet; er soll die zugeführte Spannung mindern. Nimmt der Widerstand z. B. die Hälfte der Spannung weg, dann dreht sich der Anker des Motors nur mit der halben Geschwindigkeit, weil er nur die halbe Gegenspannung zu erzeugen braucht. Dementsprechend sinkt die Leistung des Motors; aber die durch den Vorschaltwiderstand aufgezehrte Energie setzt sich in Wärme um und geht nutzlos verloren. Die Hauptstromregulierung ist also mit großem Energieverlust verbunden.

Ein zweiter Nachteil der Hauptstromregulierung besteht darin, daß die Geschwindigkeit des Motors durch den vorgeschalteten Hauptstromwiderstand von der Belastung abhängig wird. Ein 220-Volt-Motor arbeitet z. B. mit einem vorgeschalteten Widerstand von 1 Ohm derart, daß seine volle Umdrehungszahl von 1000 in der Minute auf 500 herabgesetzt ist, wenn der Stromdurchgang 110 Amp. beträgt. Der Widerstand von 1 Ohm nimmt also 110 Volt Spannung weg. Sinkt nun der Kraftbedarf der angetriebenen Maschine auf die Hälfte, dann sinkt auch die Stromstärke auf 55 Amp.; der Widerstand nimmt nur 55 Volt weg und die Spannung am Motor steigt auf 165 Volt, die Umdrehungszahl auf $\frac{1000 \cdot 165}{220}$ = auf 750 in der Minute. Soll die ursprüngliche Umdrehungszahl von 500 in der Minute wiederhergestellt werden, so muß der Vorschaltwiderstand von 1 auf 2 Ohm vergrößert werden.

Nebenschluß-(Feld-)regulierung. Bei der Feldregulierung wird der Widerstand in den Magnetstromkreis eingeschaltet, der nur wenige Prozent der gesamten Energie aufnimmt. Die Veränderungen des Widerstandes und die dadurch hervorgerufenen Verluste sind wirtschaftlich unbedeutend. Leider kann man mit der Feldregulierung nur eine Erhöhung, keine Verringerung der Geschwindigkeit des Motors erzielen. Durch den eingeschalteten Widerstand sinkt die Stromstärke in der Magnetwicklung, dementsprechend auch die Stärke des magnetischen Feldes. Der Motor muß also seine Geschwindigkeit erhöhen, um die entsprechende Gegenspannung zu erzeugen. Da die Umdrehungszahlen der Motoren

ohnehin meist höher als erwünscht sind, so müssen Motoren, deren Geschwindigkeit durch Feldregulierung geändert werden soll, für geringe Umdrehungszahlen gebaut sein. Die normale Drehzahl eines Motors sei 1000 in der Minute; seine Geschwindigkeit soll im Verhältnis 1 : 3 durch Feldregulierung geändert werden können. Der Motor wird dann für eine Grunddrehzahl von 500 in der Minute gebaut, die durch Feldregulierung auf 1500 in der Minute gesteigert werden kann. Derartige Motoren müssen zum Zwecke der guten Kommutierung des Stromes mit Hilfspolen ausgerüstet werden (Abb. 22).

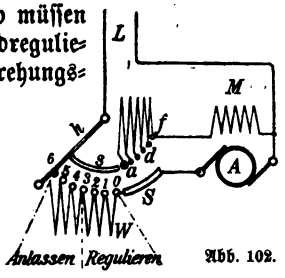


Abb. 102.

Hauptstrom- und Nebenschlußregulierungen. Einen Regulieranlasser, der sowohl eine Verminderung der Geschwindigkeit durch vorgeschalteten Hauptstromwiderstand als auch eine Erhöhung der Geschwindigkeit durch Feldregulierung ermöglicht, zeigt Abb. 102. Die Widerstände zwischen den Kontakten 6 und 3 sind nur zum Anlassen bestimmt. Sie dürfen nicht dauernd eingeschaltet werden. Dagegen sind die Drahtspiralen zwischen 3 und 0 so stark bemessen, daß sie die volle Stromstärke, für welche der Motor gebaut ist, aushalten können. Wenn z. B. der Hebel *h* auf Kontakt 3 steht, so ist die Drehzahl um 30% vermindert, bei 2 um 20% usw. Bei der Stellung auf 0 ist der Hauptstromwiderstand ganz weggeschaltet; das Feld ist voll erregt. Der Motor arbeitet mit seiner Grunddrehzahl, sagen wir 500 in der Minute. Bei fortschreitender Bewegung wird Widerstand in den Magnetstromkreis eingeschaltet und die Drehzahl des Motors steigt bei *d* um 100%, d. h. auf 1000 in der Minute, bei *f* um 200%, d. h. auf 1500 in der Minute.

Die Anlasser unterscheidet man nach ihrem Aufbau:

1. Anlasser mit Luftkühlung (Abb. 103). Diese Anlasser werden meist für kleine Motoren und überall da verwendet, wo die Drahtspiralen zum Zweck der Abwärtsregulierung dauernd eingeschaltet bleiben müssen.

Abb. 103. Anlasser mit Luftkühlung.

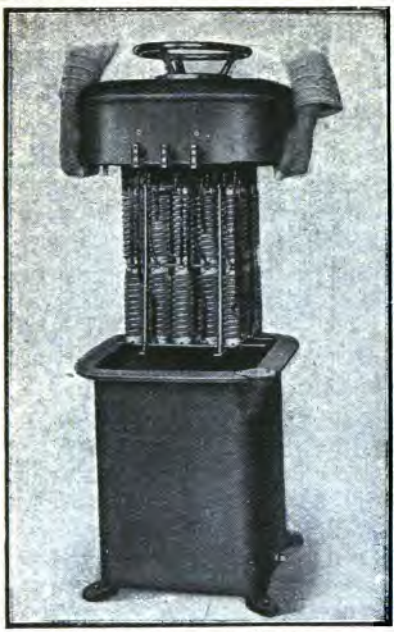


Abb. 104. Anlasser mit Ölkühlung.

2. Anlasser mit Ölkühlung (Abb. 104). Diese Anlasser sind für mittlere und größere Motoren üblich. Die Drahtspiralen befinden sich in einem Ölbade, weil Öl die beim Anlassen auftretende Erwärmung besser aufnimmt als Luft. Die mit Öl gekühlten Anlasser erfordern weniger Material und lassen sich billiger herstellen als solche mit Luftkühlung, aber sie können für häufiges Einschalten nicht gebraucht werden, weil das Öl die aufgenommene Wärme nur langsam an die umgebende Luft abgibt. Bei häufigem Einschalten, wie es Förderhaspel usw. erfordern, würde das Öl schließlich kochen.

3. Flüssigkeitsanlasser. An Stelle von Drahtspiralen wird bei diesen Anlassern der Widerstand von Wasser, in dem etwas Soda aufgelöst ist, zum Anlassen des Motors verwendet (Abb. 105). Wenn der Hebel *h* sich in der punktierten Stellung befindet, dann taucht die Metallplatte *p* nur eben in die Flüssigkeit ein; der Widerstand ist groß, die durchfließende Stromstärke gering. In dem gleichen Maße wie die Platte tiefer eintaucht, verringert sich der Widerstand, die Stromstärke steigt bis schließlich die Kontakte *a* und *b* durch den Hebel *h* metallisch verbunden werden. Auch diese Apparate sind nur für seltenes Anlassen zu gebrauchen, weil sonst die Flüssigkeit ins Kochen gerät; außerdem muß das Wasser öfters erneuert und der Kasten *k* gereinigt werden.

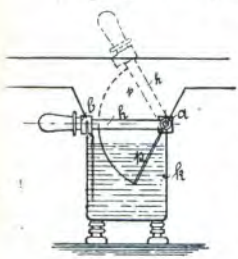


Abb. 105.

4. Schaltwalzenanlasser. Müssen größe Motoren öfters eingeschaltet werden, dann ist üblich, die Kontakte auf einer Walze anzuordn

und man spricht deshalb von Schaltwalzenanlassern (Kontrollern). Die nebenstehende Abb. 106 zeigt das Innere einer derartigen Schaltwalze von der Firma Voigt & Häffner, A.-G., Frankfurt a. M. Der zugehörige Stufenwiderstand wird meist vom Anlasser getrennt aufgestellt. Für größere Stromstärken wird als Widerstandsmaterial häufig Gußeisen verwendet. Weil ein starkes magnetisches Feld die Eigenschaften hat, auftretende elektrische Funken schnell auszublasen, werden die Schaltwalzen vielfach mit Elektromagneten (Blasmagneten) ausgerüstet.

Abb. 106. Schaltwalzen-Anlasser.

5. Selbsttätige Anlasser. Die meisten Elektromotoren laufen in jeder Stellung ohne weiteres an. Deshalb ist es möglich, die Einschaltung selbsttätig zu bewirken, z. B. durch einen Schwimmer, der von dem Wasser in einem Behälter gehoben oder gesenkt wird, oder durch einen Manometer, dessen Zeiger je nach seiner Stellung einen Stromkreis schließt oder öffnet.

Die Anordnung einer solchen selbsttätigen Anlaßvorrichtung zeigt Abb. 107. Ist der Schwimmer oben, dann ist der Stromkreis unterbrochen. Sinkt der Schwimmer bis in seine unterste Stellung, dann wird der Schalthebel gehoben, bis das Gewicht G am Winkelhebel die senkrechte Lage überschritten hat. Alsdann drückt dieses Gewicht den Schalthebel h, dessen Geschwindigkeit durch die Ölbrause Br

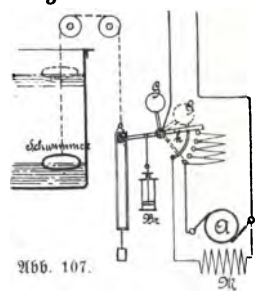
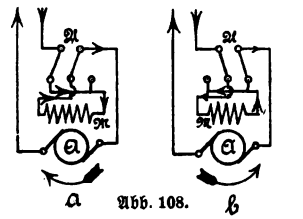
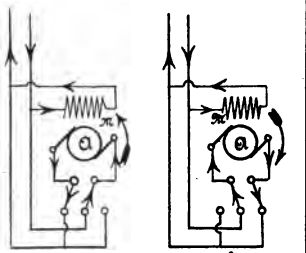


Abb. 107.



a Abb. 108. b



a Abb. 109. b

gemäßigt wird, nach unten. Der Motor läuft an, setzt die Pumpe in Bewegung, und, sobald der Schwimmer seine höchste Stellung erreicht hat, tritt der gleiche Vorgang in umgekehrter Richtung in Erscheinung, nur daß die Ölbremse jetzt nicht zur Wirkung kommt, weil das Ausschalten schnell geschehen soll.

Um das langsame Anlassen zu erreichen, bedient man sich verschiedener Hemmvorrichtungen, z. B. Windflügel, Pendelwerke usw. Für große Motoren ist der Selbstanlasser meist mit einem Hilfsmotor ausgerüstet, der das Drehen des Schalthebels durch Schneckengetriebe besorgt.

6. Umkehranlasser. Die vorgenannten Anlaßvorrichtungen können derart mit Umschaltern ausgerüstet werden, daß der Elektromotor sowohl nach rechts wie nach links herum läuft; man spricht dann von Umkehranlassern.

Soll die Drehrichtung geändert werden, so ist:

1. beim Gleichstrommotor mit Hauptwicklung die Verbindung zwischen der Magnetwicklung und dem Anker zu wechseln. Wollte man nur die äußeren Zuleitungen vertauschen, dann würde der Motor in der gleichen Richtung weiter laufen, weil die Stromrichtung sowohl im Anker als im Magnetfeld gewechselt wäre (Abb. 108a und b).

2. beim Gleichstrommotor mit Nebenschlußwicklung die Stromrichtung im Anker zu wechseln (Abb. 109a und b).

3. beim Gleichstrommotor mit Verbundwicklung die Stromrichtung in der Hauptstromwicklung auf den Magneten und im Anker zu wechseln (Abb. 108 u. 109).

Anlasser für Drehstrommotoren.

Das über die Anlasser für Gleichstrommotoren Gesagte gilt sin gemäß auch für Drehstromanlasser. Auch für Drehstrom gibt es A

lasser mit Luftkühlung und Ölkühlung, ferner Flüssigkeits-, Schaltwalzen- (Kontroller), Selbst- und Umkehranlasser. Für die Umkehrung der Drehrichtung genügt es, zwei von den drei Leitungen zu vertauschen (Abb. 110a und b).

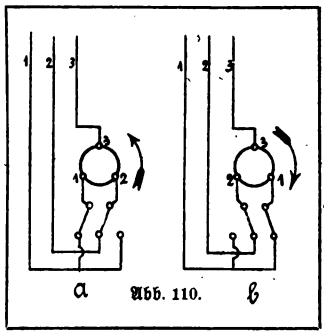


Abb. 110.

Die Einschaltung des Stufenwiderstandes in den sekundären Stromkreis des Drehstrommotors ist bereits auf Seite 51, Abb. 49 erläutert.

Bei kleinen Drehstrommotoren mit Kurzschlußanker (S. 50) ist zum Anlassen auch die Stern-Dreieck-Umschaltung gebräuchlich, und zwar deshalb, weil sie den großen Stromstoß beim Einschalten nach Möglichkeit mindert. Durch einen geeigneten Umschalter werden die sechs Enden der drei Wicklungen nach dem Schema Abb. 111 erst in Stern- und dann in Dreieckschaltung verbunden. Wesentlich ist, daß diese Schaltungen in der richtigen Reihenfolge vorgenommen werden.

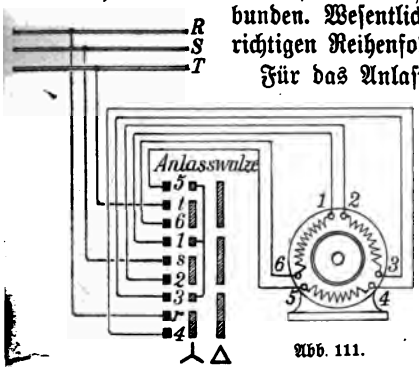


Abb. 111.

Für das Anlassen größerer Drehstrommotoren mit Kurzschlußanker werden Anlaßtransformatoren mit Stufenschalter verwendet. Die sekundäre Wicklung eines derartigen Transformators ist mehrfach unterteilt. Durch den Stufenschalter wird der Ständerwicklung des Motors nach und nach höhere Spannung zugeführt. Der Motor kann nur unbelastet oder mit ganz geringer Last anlaufen.

Kraftübertragung vom Motor zur Arbeitsmaschine.[1])

Unmittelbare (direkte) Kupplung. Die natürlichste Verbindung zwischen Elektromotor und Wellenleitung (Transmission) oder Arbeitsmaschine ist die unmittelbare (direkte) Kupplung. Man kann aber

1) Vgl. Vater, Maschinenelemente (ANuG Bd. 301).

von ihr nur in vereinzelten Fällen Gebrauch machen, weil die Umdrehungszahlen der Arbeitsmaschine und der Wellenleitungen meist erheblich geringer sind als die der Elektromotoren. Besonders geeignet zur unmittelbaren Kupplung sind Schleuder- (Zentrifugal-) pumpen, Ventilatoren, Exhaustoren, Schleif- und Poliermaschinen, Schleuderapparate (Zentrifugen), kurz, Maschinen, welche mit hohen Umdrehungszahlen arbeiten und ziemlich gleichmäßigen Kraftbedarf haben. Für schnellaufende Maschinen mit stark wechselnder Belastung: Kreissägen, Hobelmaschinen usw. ist direkte Kupplung nicht geeignet, weil die Anker oder die Rotoren der Motoren zu sehr durch die Belastungsstöße leiden und Funkenbildung am Stromabgeber der Gleichstrommotoren sowie Lockerung der Wicklungsdrähte die Folge sein würden. Bei starkem Belastungswechsel schafft die Elastizität des Riemens den besten Ausgleich. (Siehe Riemenantrieb.)

Bei großem Kraftbedarf langsam laufender Arbeitsmaschinen, z. B. Wasserhaltungen, Schachtförderungen usw., ist es zweckmäßig, die Drehzahl der Elektromotoren derjenigen der Kolbenpumpen, Fördermaschinen und Wellenleitungen der direkten Kupplung wegen anzupassen. Dann kann man den Anker oder Rotor des Motors auf der Hauptwelle der Arbeitsmaschine befestigen.

Bei kleineren und mittleren Leistungen wird die Verbindung meist durch eine elastische Kupplung (Leder-, Zodel-Voith-Kupplung) bewirkt (Abb. 112). Die Lederkupplung ist eine Scheibenkupplung SS, deren Verbindungsbolzen B durch Lederscheiben oder ähnliche elastische Stoffe miteinander verbunden sind. Geringe Abweichungen in den Mittellinien der beiden verbundenen Wellen und geringe Stöße der Arbeitsmaschine werden durch Lederkupplungen unschädlich gemacht.

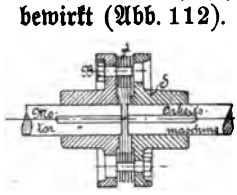


Abb. 112.

Riemenantrieb. In den weitaus meisten Fällen wird die Leistung des Elektromotors durch Riemen auf die Wellenleitung oder auf die Arbeitsmaschine übertragen. Der Riemenantrieb ermöglicht eine weitgehende Anpassung an die zweckmäßige Umdrehungszahl der angetriebenen Maschine. Außerdem ist der elastische Riemen vorzüglich geeignet, kurze und harte Stöße der Arbeitsmasch z. B. bei Pressen und Stanzen, auszugleichen. Der Riemen muß genügend lang und darf nicht zu stark gespannt sein. Andrerseit eine gewisse Spannung im Riemen erforderlich. Da er sich durch

Beanspruchung im Betriebe längt, muß die richtige Spannung durch Nachspannen wieder hergestellt werden. Deshalb wird der Motor nicht unmittelbar mit dem Fundament verbunden, sondern auf Spannschlitten (Stellschienen) befestigt (Abb. 113).

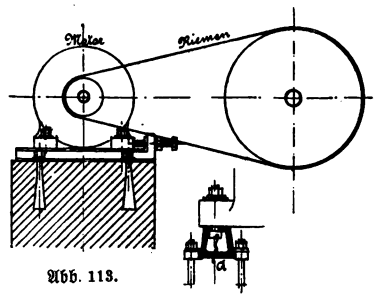


Abb. 113.

Wesentlich für die zu übertragende Leistung ist die Größe des umspannten Bogens der kleinen Riemscheibe des Motors (Abb. 114). Diese Umspannung wird in neuerer Zeit in den Fällen, wo die räumlichen Verhältnisse eine genügend große Achsenentfernung nicht gestatten, durch Einfügung einer schwingenden Leitrolle (Lenixrolle) LR erreicht. Das Gewicht G sorgt für die nötige Anspannung des Riemens, wenn das Eigengewicht der Leitrolle hierzu nicht ausreicht.

Abb. 115 zeigt die Aufstellung eines kleinen Motors auf einer Wippe. Das Eigengewicht des Motors und die Spannung der Feder sorgen für die entsprechende Spannung des Riemens.

Die durch den Riemen zu übertragende Leistung ist abhängig von seiner Geschwindigkeit und von dem Durchmesser der kleinen Scheibe. Zweckmäßig ist eine Geschwindigkeit von 20—30 m in der Sekunde. Bei dieser Geschwindigkeit beträgt der Verlust durch die Riemenübertragung nur 2—5%, wenn die Scheibendurchmesser nicht zu klein sind. Wegen des geringen Kraftverlustes werden heute mitunter Leistungen bis zu 1000 PS und mehr durch Riemen übertragen, für die man früher ausschließlich **Seilantriebe** verwendete. Der einzige Vorteil des Seilantriebes ist die größere Sicherheit. Beim Reißen eines Seiles kann man mit den übrigen weiter arbeiten. Dagegen darf nicht übersehen werden, daß der Kraftverlust bei Seilübertragung wesentlich größer (5—10%) ist, als bei Riemenübertragung;

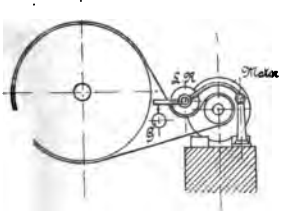


Abb. 114.

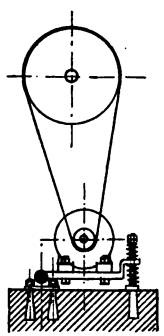


Abb. 115.

das ist durch die Versuche von Prof. Cammerer, Charlottenburg, nachgewiesen. Außerdem bedingt die hohe Umdrehungszahl des Elektromotors einen kleinen Scheibendurchmesser, meist weniger als 1 m, was für den Seilbetrieb ungünstig ist. Bei größeren Leistungen werden neuerdings an Stelle von Seilen und Riemen **Stahlbänder** verwendet.

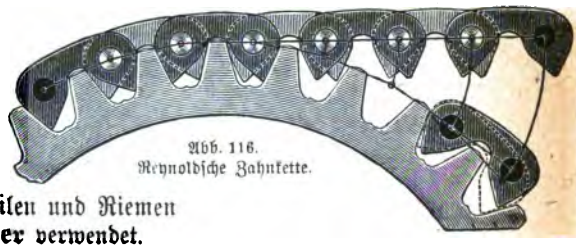


Abb. 116.
Reynoldsche Zahnkette.

Kettenantrieb empfiehlt sich bei kleinen Scheibendurchmessern und bei kleinen Umfangsgeschwindigkeiten. Für kleine Leistungen wählt man

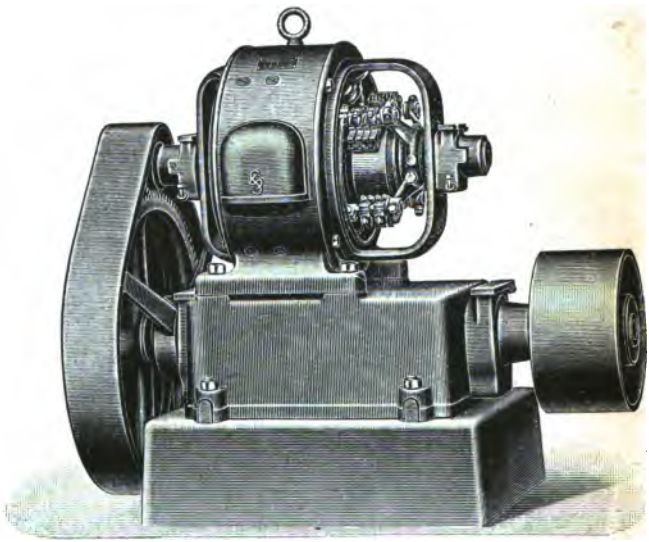


Abb. 117. Elektromotor mit Zahnradvorgelege.

die einfache Glieder- oder Gallsche Kette (wie bei den Fahrrädern), bei größeren Leistungen hat sich die „Reynoldsche geräuschlose Zahnkette" bewährt (Abb. 116).

Zahnräderantrieb verwendet man vielfach für den unmittelbaren Zusammenbau von Motoren mit Arbeitsmaschinen. Um das Geräusch der schnellaufenden Räder zu mildern, wird das kleine Zahnrad auf der Motorachse (Ritzel) bei kleineren Leistungen meist aus Rohhaut hergestellt; die Zähne müssen sorgfältig gefräst sein. Für den Antrieb von ganz langsam laufenden Wellen ist man häufig aus räumlichen Gründen gezwungen, ein Zahnradvorgelege mit dem Motor zu verbinden. Abb. 117 zeigt eine solche Anordnung. Das Übersetzungsverhältnis der Zahnräder ist meist 1 : 4 bis 1 : 6.

Schneckenantrieb (Schraube ohne Ende) eignet sich für den Antrieb sehr langsam laufender Achsen besonders dann, wenn der Betrieb nur kurzzeitig (intermittierend) ist, wie bei Winden, Fahrstühlen und Aufzügen. Bei der kurzen Inanspruchnahme spielt der geringe Wirkungsgrad des Getriebes, meist nur 45—60%, keine große Rolle und die durch die Reibungsarbeit der Schnecke hervorgerufene Wärme kann während der Ruhepausen abgegeben werden. Das Getriebe ist meist vollständig von einem gußeisernen Gehäuse umgeben und läuft dauernd unter Öl, das von Zeit zu Zeit erneuert werden muß.

Reibungsantrieb (Friktionsantrieb) wurde früher vielfach angewendet, ist aber für Leistungen von mehr als einer Pferdestärke nicht zu empfehlen.

Stromerzeugungsanlagen, Kraftwerke.

Jeder Stromerzeuger (Dynamo, Generator) bedarf zu seinem Antrieb einer Kraftmaschine, deren mechanische Energie er in elektrische umwandelt.

Dampfmaschine.[1]) Als die elektrische Kraftübertragung ihre Siegeslaufbahn begann, wurden als Antriebsmaschinen für die Stromerzeuger fast ausschließlich Dampfmaschinen benutzt. Zuerst erfolgte der
trieb vermittels Riemen vom Schwungrad der Dampfmaschine oder
1 der Hauptwellenleitung aus. Später bemühte sich die Maschinen-
nik, schnellaufende Dampfmaschinen zu bauen. Anderseits stellte die

[1]) Vgl. Vater, Die Dampfmaschine (ANuG Bd. 393/394).

Elektrotechnik langsamlaufende Dynamos her, welche zur unmittelbaren Kupplung mit jenen Dampfmaschinen geeignet waren. Zuerst wählte man stehende Dampfmaschinen, weil diese infolge ihres kurzen Hubes für höhere Umdrehungszahlen besser geeignet waren. Die stehenden Dampfmaschinen haben aber gegenüber den liegenden den Nachteil, daß sie nicht so bequem zugänglich und dementsprechend schwieriger zu bedienen sind. Nachdem es gelungen war, auch die liegenden Maschinen für höhere Umdrehungszahlen zu bauen, ging man fast allgemein zu deren Verwendung über. Besonders hat sich für diese Zwecke die Zweifachexpansionsmaschine mit hintereinander liegenden Zylindern (Tandemmaschine) bewährt. Für mittlere Anlagen mit 100—1000 PS Leistung beherrscht die Tandemmaschine auch heute noch das Feld, hauptsächlich in den Fällen, wo außer der elektrischen Kraft auch noch Dampf für Heiz-, Koch- und Trockenzwecke gebraucht wird.

Der für Heizzwecke verwendete Dampf wird meist dem Aufnehmer (Receiver), d. h. dem Verbindungsrohr zwischen dem Hoch- und Niederdruckzylinder entnommen (Zwischendampfentnahme), während der übrige Dampf in der üblichen Weise dem Kondensator zufließt. Der Aufnehmerdampf (Receiverdampf) hat bereits den größten Teil der ihm innewohnenden Kraft abgegeben, er ist z. B. im Hochdruckzylinder von 15 Atm. Überdruck auf 2 Atm. Überdruck entspannt worden, aber er hat von seinem Wärmegehalt wenig eingebüßt. Darin, daß man nun diese Wärmemenge für andere Zwecke nutzbar macht, liegt die große Wirtschaftlichkeit der Zwischendampfentnahme (Abdampfverwertung).[1])

In Färbereien, Zeugdruckereien, Braunkohlenbrikett- und chemischen Fabriken werden für Heizzwecke meist so große Mengen Dampf von geringer Spannung benötigt, daß der Abdampf der Kraftmaschinen kaum hierfür ausreicht. Dann ist es einfacher, nur Einzylindermaschinen (Einfachexpansion) ohne Kondensation aufzustellen, weil sich hierbei die Anlage- und Betriebskosten am günstigsten gestalten. 1 kg Dampf von 15 Atm. absoluter Spannung (= 14 Atm. Überdruck) hat, wenn er von seiner Sättigungstemperatur = 197,24° C auf 265° C überhi ist, ungefähr einen Wärmegehalt von 700 Wärmeeinheiten (W.E.). Ver läßt der Dampf den Zylinder der Dampfmaschine mit 2 Atm. absolut

1) Vgl. Gehrke, Wirtschaftlichkeit der Kraftanlagen (ANuG Bd. 425).

Spannung, und ist er hierbei bis auf seine Sättigungstemperatur = 119,57° C abgekühlt, dann ist der Wärmegehalt von 1 kg Dampf auf 643 W. E. gesunken, d. h. 1 kg Dampf hat in der Maschine nur 700 — 643 = 57 W. E. verloren. Zur Erzeugung einer Kilowattstunde sind in einer derartigen Auspuffdampfmaschine etwa 14 kg Dampf erforderlich, d. h. es werden für eine Kilowattstunde 14 · 57 = 800 W. E. aufgewendet, während bei einer Zweifachexpansionsmaschine mit Kondensation, ohne anderweitige Verwendung des Abdampfes, für diese Leistung etwa 5000 W. E. benötigt werden. Will man die Verluste in der Kraftanlage berücksichtigen, dann sind die beiden Ziffern 800 und 5000 W. E. um 25 % zu erhöhen = 1000 und 6250 W. E. Es ergibt sich daraus, daß eine gute Dampfmaschine nur etwa 16 % der im Brennstoff enthaltenen Wärmemenge in mechanische Energie umsetzt.

Dampfturbine.[1]) Für größere Leistungen als 1000 PS werden zum Antrieb von Stromerzeugern meist Dampfturbinen benutzt, die in bezug auf die wirtschaftliche Ausnutzung des Dampfes den besten Dampfmaschinen ebenbürtig sind, aber in bezug auf Raumbedarf, Anlagekosten und Einfachheit des Betriebes erhebliche Vorteile bieten. Ein Nachteil der Dampfturbinen ist ihre hohe Umdrehungszahl. Bis zu Leistungen von 5000 PS machen sie meist 3000 Umdrehungen in der Minute, bei höheren Leistungen 1500 oder 1000. Drehstromgeneratoren lassen sich diesen hohen Umlaufsgeschwindigkeiten leicht anpassen — sie erhalten für 50 Perioden = 100 Polwechsel/Sek. 2, 4 und 6 Magnete —, aber die Gleichstromerzeuger bieten erhebliche Schwierigkeiten, weil die Stromabgeber bei diesen Umlaufzahlen zur Funkenbildung neigen. Auch die Dampfturbine gestattet eine Zwischendampfentnahme (Anzapfturbine). Der zum Heizen benötigte Dampf wird hinter der ersten Druckstufe entnommen, der übrige Dampf geht durch die Niederdruckstufen zum Oberflächenkondensator und wird hier durch das Kühlwasser niedergeschlagen. Da das Kondensat vollständig ölfrei ist, kann es ohne weiteres wieder zur Kesselspeisung benutzt werden. Die Dampfturbine kann auch ohne Kondensation arbeiten, vorausgesetzt, daß der gesamte Abdampf zu Heizzwecken verwendet werden kann (Gegendruckturbine). Bei gleicher Dampfmenge kann aber die Turbine nicht gleiche mechanische Energie entwickeln wie die Einzylinder-Auspuffmaschine.

[1]) Vgl. Vater, Die neueren Wärmekraftmaschinen II (ANuG Bd. 86).

Gasmotor.[1]) Im Gegensatz zu der Dampfmaschine, welche den gespannten Dampf fertig aus dem Dampfkessel erhält, saugt der Gasmotor nur das spannungslose Gasgemisch an, welches dann im Zylinder entzündet und dadurch auf hohe Spannung gebracht wird. Der thermische Wirkungsgrad, d. h. die Ausnutzung des Brennstoffes zur Kraftleistung, ist beim Gasmotor wesentlich günstiger als bei der Dampfmaschine. Diese benötigt, wenn der Abdampf nicht anderweit verwendet werden kann, 5000 Wärmeeinheiten oder, unter Berücksichtigung des Kesselverlustes, etwa 6250 W. E. zur Erzeugung einer Kilowattstunde, während der Gasmotor ohne Gaserzeuger 3500 und mit Gaserzeuger 4500 W. E. für die gleiche Leistung erfordert.

Dashalb hatte man am Ende des vorigen Jahrhunderts und am Anfang dieses Jahrhunderts auf die weitere Entwicklung der Gasmotoren und auf ihre Verwendung zum Antrieb elektrischer Maschinen große Hoffnungen gesetzt. Diese sind leider nicht in Erfüllung gegangen. Man erkannte sehr bald, daß der günstige Brennstoffverbrauch nur bei voller Leistung des Gasmotors vorhanden war. Bei geringer Belastung stellte sich das Verhältnis zwischen Leistung und Brennstoffverbrauch als sehr ungünstig heraus. Ferner ergaben sich bei größeren Motoren — z. B. bei Leistungen über 300 PS — erhebliche Schwierigkeiten im Betriebe, verursacht durch die heftigen Explosionswirkungen der großen Gasmengen in den Zylindern, durch die häufig sich notwendig machende Reinigung der Zylinder von den Verbrennungsrückständen und durch die beschwerliche Inbetriebsetzung, wenn das Gasgemisch sich nicht rechtzeitig entzündete. Aus diesen Gründen werden große Gasmotoren zum Antrieb von Stromerzeugern heute nur noch auf Hüttenwerken verwendet, wo die ungeheuren Mengen der Abgase von den Hochöfen und Kokereien unmittelbar zur Verfügung stehen. In diesen Betrieben ist der wirtschaftliche Gewinn aus der Verwendung der Gase so groß, daß man die erwähnten Übelstände mit in Kauf nimmt.

Dieselmotor.[1]) Noch günstiger im Brennstoffverbrauch ist der von dem Ingenieur Diesel konstruierte und nach ihm benannte Dieselmotor. Als Brennstoffe für diesen Motor dienen: Gas-, Paraffin- und Steinkohlenteeröle. Der Brennstoff wird in fein verteiltem Zu

1) Vgl. Vater, Die neueren Wärmekraftmaschinen I u. II (ANuG Bd. 21 u. Bd. 86).

stand dem Arbeitszylinder zugeführt und stößt hier auf so hoch zusammengepreßte Luft (zirka 50 Atm.), daß deren Temperatur zu seiner Entzündung genügt.

Der Wärmeverbrauch beträgt bei diesen Motoren nur 2800 bis 3000 W. E. für eine Kilowattstunde. Der außerordentlich günstige thermische Wirkungsgrad des Dieselmotors wird aber dadurch erheblich beeinträchtigt, daß das Heizmaterial wesentlich teurer ist als Kohle.

1 kg Braunkohle	hat	2500	W. E. u. k.	0,5	Pf.,	also	10000	W. E. =	2,0 Pf.[1])
1 „ Braunkohlenbrikett	„	4800	„ „ „	1,2	„	„	10000	„ =	2,5 „
1 „ Steinkohle	„	7000	„ „ „	2,1	„	„	10000	„ =	3,0 „
1 „ Steinkohlenteeröl	„	9000	„ „ „	5	„	„	10000	„ =	5,5 „
1 „ Gasöl	„	10000	„ „ „	12	„	„	10000	„ =	12,0 „

Danach kostet der Brennstoff für:

1 Kilowattstunde	bei	Dampfbetrieb[2])	0,625	· 2,5	=	1,56 Pf.
1 „	„	Dieselmotorbetrieb	(Teeröl) 0,29	· 5,5	=	1,595 „
1 „	„	„	(Gasöl) 0,29	· 12	=	3,48 „

Bei geringer Belastung nimmt der Brennstoffverbrauch des Dieselmotors für die wirklich erzeugte Leistung nicht wesentlich zu. Er ist also nach dieser Richtung weit günstiger als der Gasmotor, und da der Dieselmotor auch frei von sonstigen Übelständen im Betriebe ist, wird er heute in kleineren Kraftwerken — bis zu 1000 PS Leistung — sehr häufig als Antriebsmaschine für Stromerzeuger benutzt.

Wasserkraftmaschinen.[3]) Stehen Wasserkräfte zur Verfügung, so sind Wasserturbinen die gegebenen Antriebsmaschinen für die Stromerzeuger. Auch auf diesem Gebiete haben sich Maschinen- und Elektrotechnik bemüht, für den unmittelbaren Zusammenbau geeignete Formen der mechanischen und elektrischen Maschinen zu schaffen. Mit Rücksicht auf die früher übliche Anordnung der Wasserturbinen mit stehender Welle sind zuerst die Dynamomaschinen dieser Bauart angepaßt worden, so weit nicht bei kleineren Leistungen der Antrieb mittels Kegelrädern erfolgen konnte. In neuerer Zeit werden die Wasserturbinen fast immer mit wagerechter Welle und für solche Umdrehungszahlen ausgeführt,

1) Die Preissätze beziehen sich auf die Zeit vor dem Kriege.
2) Ohne Abdampfverwertung.
3) Vgl. Ihering, Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnutzung der Wasserkräfte (ANuG Bd. 228).

daß die Stromerzeuger ohne weiteres angekuppelt werden können. Die Möglichkeit, durch den elektrischen Strom große Energiemengen ohne erhebliche Verluste auf 100 km und mehr Entfernung fortzuleiten, hat heute den Wert selbst entlegener Wasserkräfte erheblich erhöht.

Überlandzentralen. Unter Überlandzentralen versteht man die Gesamtheit aller derjenigen Einrichtungen, welche zur Versorgung großer Gebiete mit elektrischer Energie erforderlich sind:

a) die Stromerzeugungsanlage (Kraftwerk, Zentrale, Primärstation);

b) das Hochspannungsleitungsnetz mit 5000—100000 Volt Spannung;

c) die Transformatoren- und Umformerstationen (Sekundärstationen, Unterwerke);

d) das Niederspannungsnetz mit 110, 220, 380 und 440 Volt Spannung.

In Deutschland sind die Überlandzentralen zunächst durch die Großfirmen der Elektrotechnik ins Leben gerufen worden. Später haben sich Genossenschaften und Gemeindeverbände zum Zwecke der Stromversorgung ihrer Mitglieder gebildet.

In vielen Fällen besitzen die Verbände keine eigene Stromerzeugungsanlage, sondern sie beziehen die elektrische Energie von einem für andere Zwecke errichteten Kraftwerk der Großindustrie, von einer günstig gelegenen Wasserkraftanlage oder von einem benachbarten Kohlenwerk.

Der Preis für die Kilowattstunde beträgt ab Kraftwerk, also hochspannungsseitig gemessen, 4—7 Pfennige, während im Kleinverkauf die Kilowattstunde für Kraftzwecke mit 15—30 Pfennigen, für Lichtzwecke mit 40—60 Pfennigen berechnet wird. Diese Preise beziehen sich auf die Zeit vor dem Kriege. Der große Preisunterschied zwischen Einkauf und Verkauf ist durch die erheblichen Unkosten (mittelbare Betriebsausgaben) für das zur Fortleitung und Verteilung der Energie erforderliche Kapital bedingt.

Stromerzeugungskosten.

Die Kosten für die Erzeugung des elektrischen Stromes setzen sich zusammen aus:

a) unmittelbaren Betriebsausgaben: Brennstoff, Putz- und Schmiermaterialien, Wasser, Chemikalien für Wasserreinigung, Gehälter und Löhne, Instandhaltung, Abgaben, Versicherungen usw.

b) mittelbaren Betriebsausgaben: Zinsen und Rücklagen für das zur Erzeugung des Stromes aufgewendete Kapital.

a) Unmittelbare Betriebsausgaben.

Brennstoff. Die vorstehend genannten Kosten für den Brennstoffaufwand für 1 Kilowattstunde stellen die günstigsten Ziffern für die voll belastete Maschinenanlage dar. Tatsächlich sind die Maschinen meist ungünstig ausgenutzt, weil der Strombedarf der Abnehmer sehr schwankend ist; der Brennstoffaufwand ist deshalb erheblich größer, als in den oben angegebenen Zahlen angegeben ist.

Putz- und Schmiermaterial. Die Kosten für Putz- und Schmiermaterial sind von der Art und Größe der Kraftmaschinen abhängig. Sie sind verhältnismäßig hoch bei kleinen Dampfmaschinen und Dieselmotoren, und verhältnismäßig gering bei großen Dampfturbinen.

Instandhaltung. Die Kosten für Instandhaltung sind je nach der Güte der gesamten Anlage und nach der mehr oder minder sorgfältigen Betriebsführung verschieden. Man rechnet allgemein mit 1 % vom Wert der gesamten Anlagekosten.

b) Mittelbare Betriebsausgaben.

Die **Verzinsung** der Anlagekosten einschließlich Grundstück richtet sich nach den Verhältnissen des Geldmarkes, sie beträgt etwa 4—6 %.

Tilgung. Vielfach muß das Kapital nach einer gewissen Zeit (z. B. Ablauf der Konzessionsdauer) getilgt sein. Die anteiligen Jahresbeträge sind unter Berücksichtigung von Zinseszinsen auf die Vertragsdauer zu berechnen (0,5—2 %).

Rücklagen. Die für Rücklagen am Ende jedes Betriebsjahres bestimmten Beträge hängen von der Lebensdauer der in Frage kommenden Maschinen ab. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Maschinen, Kessel usw. mitunter vorzeitig ersetzt werden müssen, weil sie zu klein oder zu unwirtschaftlich geworden sind. Man rechnet deshalb ungefähr für: Kraftmaschinen, Stromerzeuger usw. 6 %, Schaltanlagen 10 %, Akkumulatoren 12 %, unterirdische Kabel 3 %, oberirdische Leitungen je nach der Art der Leitungsträger 5—8 %, Gebäude 3 %.

Die mittelbaren Betriebsausgaben erhöhen die Erzeugungskosten r Kilowattstunde ganz erheblich, wenn das Kraftwerk nur wenige nden im Jahr stark belastet ist, z. B. bei reiner Lichtversorgung, landwirtschaftlichen Betrieben usw. Sie fallen wenig ins Ge-

wicht, wenn die Maschinen Tag und Nacht voll belastet arbeiten z. B. in chemischen Fabriken, Holzschleifereien, Berg- und Hüttenwerken.

Die ermittelten Beträge stellen die Selbstkosten der Kilowattstunde, gemessen am Schaltbrett des Kraftwerkes, dar. Für den Verkaufspreis sind aber noch eine Menge anderer Unkosten zu berücksichtigen, besonders wenn es sich um die Versorgung großer Gebiete und vieler Kleinabnehmer handelt. An unmittelbaren Kosten kommen hinzu: der Energieverlust in den Hoch- und Niederspannungsleitungen, Transformatoren, Umformern, Akkumulatoren und Zählern, die Gehälter und Löhne für die Überwachung und Instandhaltung der Leitungsnetze und der Unterwerke, für das Ablesen der Zähler, Ausschreiben der Rechnungen usw. An mittelbaren Kosten: Verzinsung, Tilgung und Rücklagen für das zur Stromverteilung aufgewendete Kapital, das bei großen Überlandzentralen viel größer ist, als die Kosten des Kraftwerkes selbst.

Stromlieferungsbedingungen.

Die außerordentlich verschiedenen Verhältnisse, unter denen die elektrische Energie erzeugt und verwendet wird, verursachen die große Mannigfaltigkeit der Verkaufspreise und der Stromlieferungsbedingungen (Tarife). Die hauptsächlichsten Tarife sind:

Benutzungsdauertarif. Nachdem der Abnehmer die angeschlossenen Kilowatt (Anschlußwert) mehrere hundert Stunden im Jahr benutzt hat, erhält er entweder für die weiterhin noch benötigte Energie einen ganz erheblichen Nachlaß auf den Grundpreis, oder der Strompreis wird unmittelbar von der Benutzungsdauer des Anschlußwertes abhängig gemacht.

Grundgebührtarif. Für jedes angeschlossene Kilowatt zahlt der Abnehmer eine Grundgebühr als Deckung für alle mittelbaren Betriebsausgaben und erhält dann einen billigen Preis für die wirklich abgenommene Kilowattstunde.

Doppeltarif. Das Elektrizitätswerk hat eine Sperrzeit für die Stunden der höchsten Belastung, meist hervorgerufen durch Stromabgabe für Beleuchtung, von Anbeginn der Dunkelheit bis 8 Uhr abends. Während der Sperrzeit kostet die Kilowattstunde das Doppelte [illegible] mehr des Preissatzes, der außer der Sperrzeit gilt. Der Zweck ist, [illegible] Kraftwerk und das Leitungsnetz während der Sperrzeit nach Mögl[illegible]keit zu entlasten.

Der Grundgedanke aller dieser Tarife ist, daß der Abnehmer, welcher die Energie während mehrerer tausend Stunden im Jahr bezieht, einen billigeren Preis erhält als der, welcher den Strom nur wenige Stunden im Jahr gebraucht.

Anwendung des Elektromotors.

Bergbau. Der Bergmann war der erste, welcher sich die Dampfmaschine nutzbar machte. Ebenso hat er auch zuerst erkannt, daß die mit zunehmender Schachttiefe und Streckenlänge immer größer werdenden Schwierigkeiten des Abbaues am leichtesten durch elektrische Kraftübertragung überwunden werden.

Zunächst verwendete er den Elektromotor für kleine Wasser- und Streckenförderungen, indem er Kolbenpumpen, Ketten- und Seilbahnen mittels Riemen- und Zahnrädervorgelegen antrieb. Die hierbei erzielten guten Erfolge wirkten ermutigend. Die Kolbenpumpen wurden für immer größere Leistungen und höhere Umdrehungszahlen gebaut, so daß sie mit langsam laufenden Motoren unmittelbar gekuppelt werden konnten. Einen besonderen Aufschwung nahm die elektrisch betriebene Wasserförderung, als die Firma Gebrüder Sulzer in Winterthur und Ludwigshafen Ende vorigen Jahrhunderts Hochdruckzentrifugalpumpen baute, deren Förderhöhe weit über das bis dahin übliche Maß hinausging. Es wurden innerhalb weniger Jahre Wasserhaltungen geschaffen, deren Kraftbedarf 1000 PS und mehr betrug. Der geringe Raumbedarf der Zentrifugalpumpen, deren Umdrehungszahlen denen der Drehstrommotoren bequem angepaßt werden können, die geringen Anlagekosten, die stoßfreie Beförderung der Wassersäule, die bequeme Regulierbarkeit der zu fördernden Wassermenge ließen den einzigen Nachteil der Zentrifugalpumpen, ihren geringeren Wirkungsgrad gegenüber den Kolbenpumpen zurücktreten.

Auch als Abteufpumpe hat sich die Zentrifugalpumpe bestens bewährt. Als solche wird sie, ebenso wie der Elektromotor, mit senkrechter Welle konstruiert: Motor und Pumpe werden übereinanderstehend in einem Gerüst eingebaut. Die Vorteile des Elektromotors: geringer Raumbedarf, geringes Gewicht im Verhältnis zur Leistung und sehr geringe Wärmeausstrahlung kommen bei dieser Anordnung ganz besonders zur Geltung.

Auch bei der Wetterführung hat sich der Elektromotor zum Antrieb der Ventilatoren bestens bewährt. Die bequeme Geschwindigkeitsregelung des Gleichstrommotors entspricht den Anforderungen dieses Betriebes in jeder Weise.

An den elektrischen Antrieb der Fördermaschinen ist der Bergmann aus leicht erklärlichen Gründen erst zu allerletzt gegangen; hängt doch von deren Betriebssicherheit der gesamte Bergwerksbetrieb und das Leben der Arbeiter unter Tage ab. Außerdem handelt es sich bei Hauptschachtfördermaschinen um so gewaltige Leistungen und Belastungsstöße, daß selbst große Kraftzentralen diesen Anforderungen nicht entsprechen könnten, wenn die Fördermaschine in der üblichen Weise von einem Gleichstrom- oder Drehstrommotor angetrieben würde.

Nur bei ganz großen Stromerzeugungsanlagen ist es möglich, Drehstrommotoren von mehr als 1000 PS Leistung zum unmittelbaren Antrieb von Fördermaschinen zu verwenden. Zum Anlassen dient dann ein großer Flüssigkeitsanlasser, dessen Eintauchplatten feststehen, während die Flüssigkeit durch eine kleine Schleuderpumpe gehoben und gesenkt wird. Für den Betrieb von größeren Hauptschachtfördermaschinen wird meist ein besonderes System: „Leonardschaltung mit Ilgnerschwungrad" angewendet, dessen grundlegende Einzelheiten nachstehend beschrieben werden.

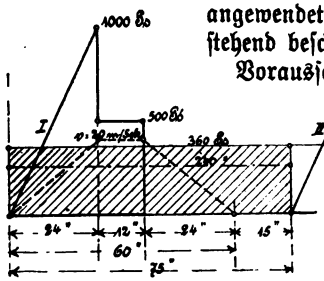


Abb. 118.

Voraussetzung ist, daß das Bergwerk über eine Drehstromkraftverteilungsanlage verfügt, von der aus die Fördermaschine mit einem höchsten Kraftbedarf von 1000 PS betrieben werden soll, ohne daß sich die entstehenden großen Kraftschwankungen allzusehr im Leitungsnetz und auf die Stromerzeuger bemerkbar machen. Abb. 118 zeigt das Schaubild des Energiebedarfes und der Geschwindigkeit einer solchen Fördermaschine. Die ausgezogene Linie zeigt die Leistung des Motors, die gestrichelte die Geschwindigkeit des Förderseiles. Die wagrechten Teilstrecken geben die Zeit an, die senkrechten Abstände von der M linie die Leistung in PS, bzw. die Geschwindigkeit in m/sek.

Während der ersten 24 Sekunden steigt der Kraftbedarf der schine von 0 auf 1000 PS und die Geschwindigkeit von 0 auf 2(damit ist der Beharrungspunkt erreicht. Während der nä

12 Sekunden arbeitet die Maschine mit der vollen Geschwindigkeit von 20 m, d. h. mit einem Kraftbedarf von nur 500 PS, weil die Beschleunigungsarbeit für die in Bewegung gesetzten Massen bereits geleistet ist. Nun wird der Strom abgestellt. Die Fördermaschine läuft allmählich aus, wozu etwa 24 Sekunden erforderlich sind. Die Förderschale braucht also einen Zeitraum von 60 Sekunden, um die ganze Förderstrecke zurückzulegen. Etwa 15 Sekunden Zeit sind erforderlich, um oben die vollen Wagen heraus- und die leeren hineinzuschieben. Unten im Schacht spielt sich in ebenfalls 15 Sekunden der Vorgang umgekehrt ab. Das ganze Förderspiel dauert also $60 + 15 = 75$ Sekunden. Die Kraftleistung während dieser Zeit beträgt:

$$(1000 \cdot \tfrac{24}{3}) + (500 \cdot 12) = 18000 \text{ PS/sek.}$$

Könnte man diese Leistung gleichmäßig und verlustfrei auf die 75 Sekunden übertragen, so würde sich der durchschnittliche Kraftbedarf auf

$$\frac{18000 \text{ PS/sec}}{75 \text{ sek}} = 240 \text{ PS}$$

also auf den vierten Teil der wirklich geforderten Höchstleistung von 1000 PS ermäßigen. Ein derartiger Belastungsausgleich ist ohne Energieverlust nicht zu erreichen. Aber die durch den Ausgleich erzielten Vorteile sind so groß, daß man den Nachteil des erheblichen Verlustes und des großen Kapitalaufwandes trotzdem in den Kauf nimmt.

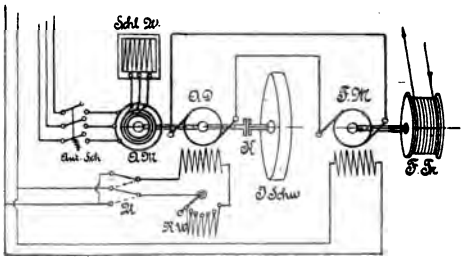


Abb. 119.

In Abb. 119 bedeutet *AM* den Drehstrommotor (Anlaßmotor), der aus dem allgemeinen Drehstromleitungsnetz seinen Strom erhält; seine Leistung beträgt etwa 350 bis 400 PS. Er ist unmittelbar mit einer Gleichstromdynamo (Anlaßdynamo), *AD*, und mit einem Schwungrad, *JSchw*, gekuppelt. Die Dynamo n kurzzeitig den Strom für 1000 PS Motorleistung erzeugen. s Schwungrad, welches den Kraftausgleich bewirken soll, hat Gewicht von 15000 kg und einen Durchmesser von 3,75 m. ne Umfangsgeschwindigkeit beträgt bei 500 Umdrehungen in Minute etwa 90 m/sek = 324 km/st., also das Vierfache

der Schnellzugsgeschwindigkeit. Das Arbeitsvermögen beträgt über 3000000 kgm.

Die Erregung der Anlaßdynamo und des Fördermotors erfolgt aus einem vorhandenen Gleichstromnetz oder durch eine unmittelbar mit dem Umformer gekuppelte Erregermaschine. In den Stromkreis der Feldwicklung der Anlaßdynamo ist ein großer Regulierwiderstand RW mit Umschalter für den Wechsel der Stromrichtung eingeschaltet. Mit dem Anlasser für den Drehstrommotor ist ein Schlupfwiderstand $SchlW$ verbunden, der dauernd in dem Rotorstromkreis eingeschaltet bleibt. Dieser Widerstand bewirkt, daß die Umdrehungszahl des Motors bei steigender Belastung, d. h. zunehmender Stromstärke im Rotorstromkreis sinkt und bei abnehmender Belastung steigt.

Die Vorrichtung arbeitet folgendermaßen:

Zunächst wird der Drehstrommotor angelassen und das Schwungrad langsam in Bewegung gesetzt, bis es seine volle Geschwindigkeit erreicht hat. Der zehnpolige Drehstrommotor hat bei 50 Perioden in der Sekunde eine Leerlauf-(Synchron-)umdrehungszahl von 500 in der Minute. Infolge des Schlupfwiderstandes wird die höchste Umdrehungszahl etwa 490 in der Minute sein. Die Erregung des Fördermotors und die der Anlaßdynamo wird vermittels der Regulierwiderstände eingeschaltet.

Die Umdrehungszahl des Gleichstromfördermotors ist abhängig von der ihm zugeführten Spannung, d. h. von der Feldstärke der Anlaßdynamo. Wird der Regulierwiderstand allmählich ausgeschaltet, etwa in 20 Sekunden, dann hat auch der Fördermotor, dessen Umdrehungszahl der Fördermaschine angepaßt sein muß, seine volle Geschwindigkeit erreicht. Beträgt der Seilscheibendurchmesser 5 m, dann ist die höchste Umdrehungszahl 75 in der Minute, entsprechend 20 m Seilgeschwindigkeit. Nun aber nimmt der Fördermotor viel mehr Energie, bis 1000 PS, auf als der Anlaßmotor mit 350—400 PS Leistung erzeugen kann. Die Folge davon ist, daß die Umdrehungszahl des Anlaßmotors infolge des Schlupfwiderstandes sinkt, und daß nunmehr das im Schwungrad aufgespeicherte Arbeitsvermögen zur Wirkung kommt. In gleicher Weise, wie sich seine Geschwindigkeit vermindert, gibt das Schwung Energie an die Gleichstrommaschine ab, „es entladet sich". Wird Gleichstromanlaßdynamo ausgeschaltet, wobei nur der Magnetstrc kreis unterbrochen wird, dann nimmt der Drehstrommotor infolge geringeren Leistung eine höhere Geschwindigkeit an, ebenso das Schwu

rad; es nimmt wieder Energie auf, „es wird geladen". Die Änderung in den Umdrehungszahlen wird sich etwa in den Grenzen von 480 bis 490 bewegen.

Dieses Spiel wiederholt sich mit jedem Förderzug, also in Zeiträumen von je 75 Sekunden. Durch entsprechende Einstellung des Schlupfwiderstandes kann man es erreichen, daß die Stromaufnahme des Drehstrommotors aus dem allgemeinen Kraftverteilungsnetz nur geringe Schwankungen aufweist. Statt der vorhin berechneten theoretischen Leistung von 240 PS wird der Drehstrommotor etwa 330 bis 370 PS zu erzeugen haben, um die durch Umformung der Energie entstehenden Verluste zu decken. Durch die gleichmäßige Stromaufnahme des Drehstrommotors wird der Betrieb der Maschinen in der Kraftzentrale wirtschaftlicher gestaltet, und die Umformerverluste werden damit ausgeglichen. Das Arbeitsvermögen des Schwungrades ist so groß, daß es bei Beendigung der Schicht die letzten zwei Förderzüge allein leisten kann, allerdings ermäßigt sich dann die Fördergeschwindigkeit. Will man zur Prüfung des Schachtinneren mit nur ganz geringer Geschwindigkeit, etwa 2 m/sek, fahren, so wird die Anlaßdynamo nur bis zu $^1/_{10}$ ihrer vollen Feldstärke erregt. Tatsächlich kann man den Fördermotor mit jeder gewünschten Geschwindigkeit arbeiten lassen; er behält sie, unabhängig von der Belastung, bei. Für Fahrten mit ganz geringer Geschwindigkeit wird der Umformer meist ohne Schwungrad benutzt; deshalb muß es durch die Kupplung *K* leicht von dem Umformer getrennt werden können (Abb. 120 Umformer mit Ilgnerschwungrad, Abb. 121 die Fördermaschine).

In schlagwettergefährlichen Gruben müssen die elektrischen Einrichtungen mit ganz besonderer Vorsicht ausgeführt werden. Die Behörden verlangen für die Motoren und Apparate eine Bauart, welche verhindert, daß die im Betriebe auftretenden Funken eine Entzündung der schlagenden Wetter herbeiführen. Bei den Schalt- und Sicherungsapparaten läßt sich diese Forderung verhältnismäßig leicht dadurch erfüllen, daß die Kontakte unter Öl angeordnet werden, so daß die beim Ausschalten und Schmelzen von Sicherungsstreifen entstehenden Lichtbogen [illegible] Luftabschluß verlöschen. Die gußeisernen Kasten sind so stark gebaut, [illegible] sie einem erheblichen Gasdruck Widerstand leisten. In besonderen [illegible]en wird zum Ausgleich des Gasdruckes ein Sicherheitsventil eingebaut. [illegible]leinere Motoren können ebenfalls dadurch schlagwettersicher ausgeführt werden, daß man sie vollständig einkapselt. Bei größeren Mo-

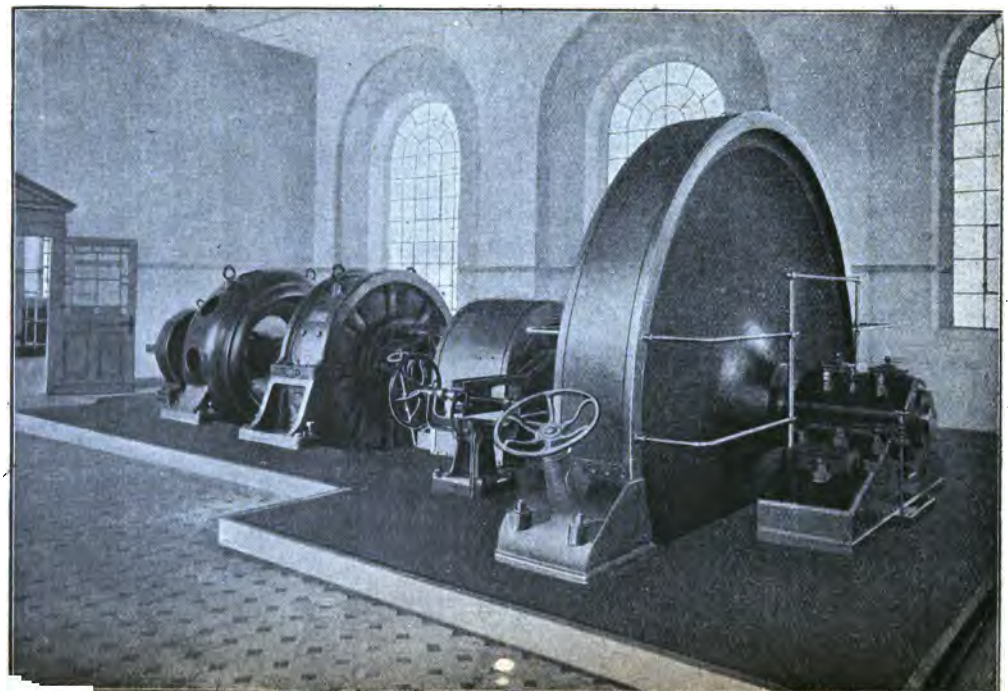


Abb. 120. Ilgnerumformer.

Abb. 121. Elektrische Fördermaschine.

toren bietet diese Bauart wegen der mangelnden Wärmeabfuhr Schwierigkeiten. Sie werden deshalb in ein starkes gußeisernes Gehäuse mit sog. Plattenschutz eingebaut, das den gleichen Zweck hat wie der Gazeschutz an der Davyschen Sicherheitslampe. Die ringförmigen Platten sind mit $^1/_2$ mm Abstand aneinandergereiht. Sie lassen sowohl die warme Luft, die sich im Motorgehäuse bildet, als auch etwaige Explosionsgase durchstreichen, kühlen letztere aber so weit ab, daß sie schlagende Wetter nicht mehr entzünden können.

Hüttenwesen. Der mit dem Bergbau eng verbundene Hüttenbetrieb hat sich den Elektromotor ebenfalls nutzbar gemacht. Die Beförderung der Erze vom Schacht zur Hütte, zur Aufbereitung und zum Gichtboden des Hochofens, die Weiterbeförderung des Roheisens zu den Gießereien und Walzwerken sind heute ohne elektrisch betriebene Bahnen, Aufzüge, Krane nicht mehr denkbar. Die Anpassungsfähigkeit des Elektromotors hat die ungeheure Entwicklung dieser Großindustrie wesentlich gefördert.

Die Walzenstraßen werden mit Elektromotoren betrieben, die zum Teil ebenso arbeiten wie die vorerwähnten Fördermotoren. Die fertigen Erzeugnisse des Walzwerkes werden von Kranen, die mit großen Elektromagneten von einer Tragkraft bis zu 5000 kg ausgerüstet sind, angehoben und zur Lagerstätte oder zur Verladestelle gebracht, kurz, es gibt im Hüttenwesen kaum einen Arbeitsvorgang, bei dem nicht der Elektromotor verwendet wird.

Maschinenfabriken und Eisengießereien. In die unzähligen Betriebe der Verarbeitung des Eisens und der Metalle hat der Elektromotor gleichfalls Eingang gefunden, besonders deshalb, weil er die ganze Kraftversorgung von einer Stelle aus ermöglicht und damit die schwierigen und kraftverzehrenden, großen Riemen- und Seilübertragungen beseitigt. Es können sowohl kleine Gruppen zusammengehöriger Arbeitsmaschinen, als auch große Werkzeugmaschinen durch einzelne Motoren angetrieben werden. Steht Gleichstrom zur Verfügung, so kann infolge der leichten Geschwindigkeitsregelung die Leistungsfähigkeit der Arbeitsmaschinen mit Einzelantrieb ganz außerordentlich gesteigert werden. Große Hobelmaschinen erhalten vielfach Einzelantrieb durch Gleichstrommotoren, deren Umdrehungszahl durch Feldregulierung in weiten Gr
zen veränderlich ist, zum Teil auch durch Anwendung der Leonardsch
tung. Einzelne große Drehbänke können, wenn sie z. B. schwere Schwu
räder oder Seilscheiben zu bearbeiten haben, unabhängig von d
übrigen Betriebe, auch während der Nacht durchlaufen. Wenn eilige

paraturarbeiten große Beschleunigung der Arbeit fordern, kommt dieser Vorteil besonders zur Geltung. Wenn es sich um das Bohren kleiner Löcher handelt, so fällt der Transport schwerer Werkstücke weg, weil sich die kleinen elektrischen Bohrmaschinen leicht bewegen lassen.

Die Leistungsfähigkeit der Laufkrane, die bei größeren Abmessungen mit drei Motoren, einem für das Heben der Last, einem für die Seitenbewegung der Laufwinde und einem für die Längsbewegung des ganzen Kranes ausgerüstet werden, ist durch den elektrischen Antrieb außerordentlich erhöht worden. Die Abb. 122 läßt den Aufbau einer derartigen Motorlaufwinde von der Firma Gebr. Bolzani in Berlin erkennen. Abb. 123 zeigt eine Aufzugwinde für Personen- und Lastenaufzüge der Firma Schelter und Giesecke, Leipzig-Plagwitz.

Für Maschinenfabriken hat der Elektromotor noch den Vorteil, daß er es ermöglicht, den Kraftbedarf der einzelnen Arbeitsmaschinen genau festzustellen. Es werden heute sehr scharfe Bedingungen in bezug auf Leistung und Wirkungsgrad gestellt. Für eine Maschinenfabrik, welche Schleuder-(Zentrifugal-)pumpen, Kompressoren, Ventilatoren und ähnliche Maschinen baut, ist es deshalb unbedingt erforderlich, über einen gut eingerichteten Prüfstand zu verfügen. Da man die von dem Elektromotor verbrauchte Energie bequem und genau messen kann, ist es ein Leichtes, jede Maschine vor dem Versand auf Leistungsfähigkeit und Kraftbedarf zu prüfen und etwaige Mängel zu beseitigen. Derartige Prüfungen schützen nicht nur vor unliebsamen Auseinandersetzungen mit dem Besteller, sie klären auch das Urteil über den Wert dieser oder jener Bauart und über die Werkstattarbeit.

Textilindustrie.[1]) Moderne Spinnereien und Webereien sind meist zusammenhängend gebaut, sodaß die Kraftversorgung durch Wellen, Riemen und Seile keine Schwierigkeiten bietet. Der räumliche Zusammenhang fehlt aber häufig bei älteren Fabriken, die nach und nach erweitert worden sind. Hier ist eine zweckmäßige Kraftversorgung nur durch elektrische Übertragung möglich. Aber auch bei Neuanlagen gibt man der elektrischen Kraftübertragung trotz höherer Anlagekosten den Vorzug, weil sie die größte Unabhängigkeit in der Ausgestaltung der Einrichtungen bei späteren Erweiterungen bietet.

Der Einzelantrieb von Spinnmaschinen mit hin- und her gehenden gen (Selfaktoren) hat sich allerdings bisher wegen des stark schwan-

1) Vgl. M. Lehmann, Die Spinnerei (ANuG Bd. 338), und Paur, Die berei (ANuG Bd. 468).

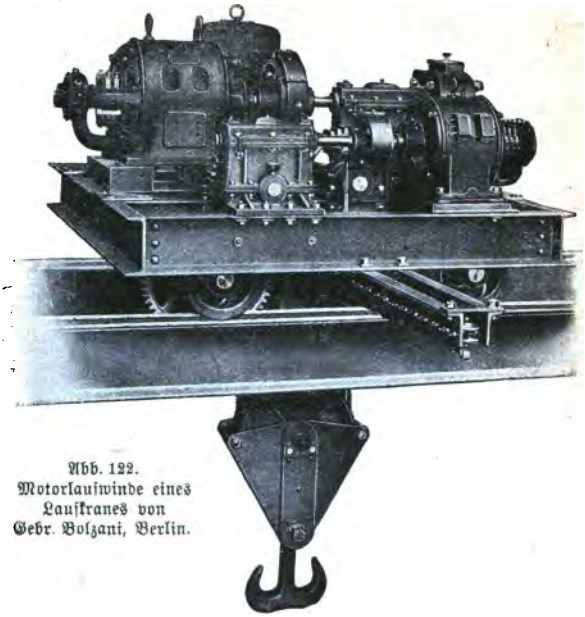


Abb. 122.
Motorlaufwinde eines
Laufkranes von
Gebr. Bolzani, Berlin.

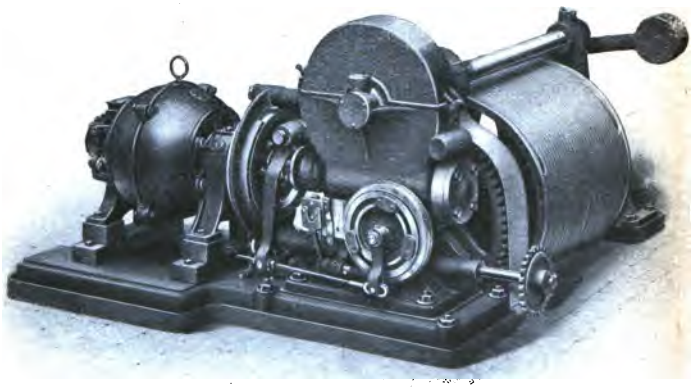


Abb. 123. Elektrische Aufzugswinde von Schelter & Giesecke, Leipzig-Plagwitz.

lenden Kraftbedarfes noch nicht mit Vorteil durchführen lassen, dagegen werden Ringspinnmaschinen vielfach durch Einzelmotoren angetrieben. Die Leistungen der Maschinen und die Güte des Gespinstes sind dadurch wesentlich verbessert worden.

Das gleiche gilt vom Einzelantrieb in den Webereien, die bessere z. B. seidene Stoffe herstellen. Die Elektrotechnik hat besondere Webstuhlmotoren, von $^1/_3$ PS Leistung an, geschaffen, die sich in Bauart und Wirkungsweise den Arbeitsbedingungen des Webstuhles bestens anpassen. Tausende von solchen Webstuhlmotoren sind bereits im Betrieb.

In Färbereien ist der Kraftbedarf im allgemeinen gering: die Arbeitsmaschinen stehen weit voneinander entfernt. Deshalb findet häufig der Einzelantrieb Verwendung, um so mehr, als die Zentrifugen (Schleudern) mit ihren hohen Umdrehungszahlen sich dem elektrischen Antrieb sehr gut anpassen.

In Zeugdruckereien (Kattunfabriken) handelt es sich zum Antrieb der Druckmaschinen wieder um Motoren, deren Umdrehungszahlen in weiten Grenzen regulierbar sein müssen. Die Leistung der einzelnen Motoren ist meist nicht sehr hoch, 10—20 PS, und die Aufstellung von Umformern mit Leonardschaltung für jeden einzelnen Motor würde einen zu großen Kapitalaufwand erfordern. Man hat deshalb zur Spannungsteilung eine Einrichtung getroffen, die durch Abb. 124 veranschaulicht wird.

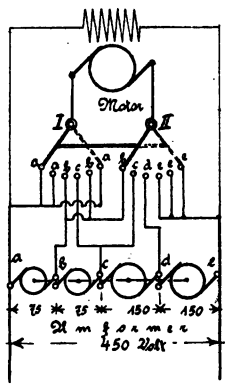


Abb. 124.

In einer Gleichstromkraftleitung von 450 Volt Spannung ist ein Umformer eingeschaltet, der aus je zwei Motoren mit je zwei Ankerwicklungen besteht. Die letzteren sind so bemessen, daß sie 75 + 75 und 150 + 150 Volt, zusammen 450 Volt Spannung aufnehmen oder erzeugen können. Sie arbeiten also je nach der Belastung teils stromaufnehmend teils stromerzeugend, wie beim Dreileitersystem (S. 68, Abb. 70).

Die Magnetwicklungen des Umformers (in der Zeichnung nicht entha[illegible]en) und des Motors werden dauernd mit 450 Volt erregt. In [illegible]Zuleitung zur Ankerwicklung des Motors *M* liegt ein zweipoliger,

sechsfacher Umschalter, dessen Kontakte mit den einzelnen Bürsten von *a* bis *e* verbunden sind. Angenommen, die höchste Drehzahl des Motors beträgt 1200 in der Minute, so ergeben sich je nach der Stellung der Umschalthebel folgende Spannungen und Umdrehungszahlen:

Stellung der Hebel I und II:	Spannung am Motor:	Umdrehungszahlen in der Minute:
a—*b*	75	200
a—*c*	75 + 75 = 150	400
b—*d*	75 + 150 = 225	600
c—*e*	150 + 150 = 300	800
b—*e*	75 + 150 + 150 = 375	1000
a—*e*	75 + 75 + 150 + 150 = 450	1200

Der Motor arbeitet also je nach Bedarf mit sechs verschiedenen Geschwindigkeiten.

Papierindustrie. In ganz besonderer Weise haben sich die Papierfabriken die Vorteile der elektrischen Kraftverteilung zunutze gemacht, und wieder ist es die Geschwindigkeitsregelung der Gleichstrommotoren, die sich den besonderen Anforderungen des Betriebes von Papiermaschinen, Kalandern, Roll- und Umrollmaschinen, Streichapparaten usw. vorzüglich anpaßt.

Der für den Antrieb des veränderlichen Teiles der Papiermaschine unbedingt erforderliche Gleichstrom muß in vielen Fällen durch Umformung hergestellt werden, weil die großen Kräfte der oft mit Papierfabriken verbundenen Holzschleifereien die Verwendung von Drehstrom erfordern. Für die Erzeugung so großer Leistungen (1500 bis 5000 Kw) kommen heute meist nur Dampfturbinen in Frage. Der Drehstromgenerator paßt sich den hohen Umdrehungszahlen der Dampfturbine (3000 in der Minute) viel besser an, als der Gleichstromgenerator, dessen Stromabgeber bei dieser Geschwindigkeit leicht zur Funkenbildung neigt. Ebenso ist der große Drehstrommotor von 1000—1500 PS zum Antrieb der Holzschleifer besser geeignet als der Gleichstrommotor. Endlich ist der Drehstrom aus dem Grunde zweckmäßig, weil es sich vielfach um Ausnutzung entfernt liegender Wasserkräfte handelt.

Der Antrieb der Papiermaschine erfolgt durch zwei Motoren, t denen der erstere mit gleichbleibender Geschwindigkeit die Rührbütt Knotenfänger, Stoffpumpen usw. antreibt (konstanter Teil). An d

zweiten Motor, den Hauptmotor, werden in bezug auf seine Geschwindigkeitsregelung sehr hohe Anforderungen gestellt, wenn er zum Antrieb großer, neuzeitlich eingerichteter Papiermaschinen dienen soll. Die Geschwindigkeit des Motors muß in weiten Grenzen veränderlich sein, die Regelung muß sehr feinstufig erfolgen, und die einmal eingestellte Geschwindigkeit muß auf etwa $1^1/_2\,\%$ genau eingehalten werden (variabler Teil der Papiermaschine).

Der Regelungsbereich ist von der Art der Papiererzeugung abhängig. Soll auf einer Papiermaschine ausschließlich Zeitungspapier hergestellt werden, so genügt eine Regelung von 1 : 4, vielleicht auch 1 : 6. Soll aber dieselbe Maschine nach Bedarf ganz dünnes Papier oder dicken Karton herstellen, dann muß die Geschwindigkeit des Motors in den Grenzen von 1 : 10 und darüber geändert werden können. Eine so weit gehende Regelung läßt sich nur durch die Leonardschaltung erreichen (S. 103). Mitunter muß sogar noch eine Feldregelung des Motors zu Hilfe genommen werden, weil bei schwacher Erregung der Anlaßdynamo die gleichbleibende Geschwindigkeit des Motors infolge der dann verhältnismäßig großen Ankerrückwirkung nur schwer zu erzielen ist.

Wenn die gesamte Kraftverteilung in einer Papierfabrik ohnehin mit 225 Volt Gleichstrom erfolgt, dann gibt es noch eine andere Möglichkeit, dem Papiermaschinenmotor in weiten Grenzen veränderliche Spannung zuzuführen, und zwar so, daß die Anlaßdynamo nur die halben Leistung des Motors zu haben braucht. Man nennt diese Anordnung Zu- und Gegenschaltung (Abb. 125). Der Papiermaschinenmotor *PM* ist für eine höchste Spannung von 450 Volt gebaut, die Anlaßdynamo *AD* dagegen nur für 225 Volt; es würde sogar genügen, wenn sie nur 150 bis 200 Volt erzeugte. Wird die Anlaßdynamo so erregt, daß ihr + Pol mit dem — Pol des ungsnetzes verbunden ist, dann wirkt ihre Spannung erhöhend ver des Netzes, also 225 + 0 bis 225 = 225 bis 450 Volt. Wird Stromrichtung der Erregung durch den Umschalter *U* gewechselt, n ist der — Pol der Anlaßdynamo mit dem — Pol des Netzes verden, und die von der Dynamo erzeugte Spannung wirkt mindernd,

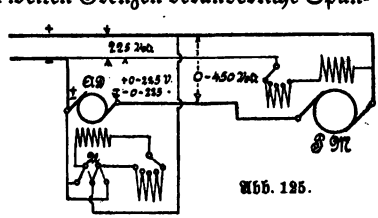


Abb. 125.

also 225 — 0 bis 225 = 225 bis 0 Volt, d. h. dem Motor kann beliebige Spannung von 0 bis 450 Volt zugeführt werden.

Bei geringem Regelungsbereich, 1 : 4 oder 1 : 6, begnügt man sich mit der Feldregelung des Motors unter Zuhilfenahme von leicht auswechselbaren Riemscheiben, deren Durchmesser verschieden groß ist. Das Wellenende des Motors wird schwach konisch gestaltet und mit einer Verschraubung versehen, um die Auswechselung der Riemscheiben zu erleichtern.

Der Antrieb der Maschinen zum Glätten des Papiers (Kalander), stellt in bezug auf Regelung der Umdrehungszahlen während des eigentlichen Betriebes keine hohen Anforderungen; es genügt meist eine Änderung der Geschwindigkeit von 1 : 2 oder 1 : 3. Aber für die Einführung des Papieres muß die Geschwindigkeit der Walzen erheblich verringert werden, etwa auf 8—12 m in der Minute, während die höchste Arbeitsgeschwindigkeit bis zu 120 m in der Minute beträgt. Da die Anwendung eines Leonardumformers zu teuer werden würde, behilft man sich meist damit, daß man während der Einführung, etwa eine Minute lang, Widerstand in die Ankerleitung schaltet, weil der Energieverlust für diese kurze Zeit keine Rolle spielt. Ist außer der 500-Volt-Kraftleitung noch eine 110-Volt-Lichtleitung vorhanden, so legt man den Anker des Kalandermotors für die Dauer der Einführung des Papieres an diese geringere Spannung und erreicht dadurch ohne weiteres die Herabsetzung der Umdrehungszahlen auf $^1/_5$. Nimmt man außerdem die Feldregelung des Motors zur Hilfe, so kann man die Geschwindigkeit bis auf $^1/_{10}$, ja $^1/_{15}$ der Höchstgeschwindigkeit verringern.

Für die übrigen Maschinen der Papierfabrik: Roller, Umroller, Streichapparate usw., genügt eine Regelung von 1 : 2 bis 1 : 4.

Graphische Industrie.[1]) Auch in den Buch-, Stein- und Zeitungsdruckereien hat der elektrische Antrieb jede andere Antriebsart verdrängt. Die hier in Frage kommenden Kräfte sind gering, aber die Maschinen arbeiten alle mit großen Unterbrechungen, weil die Zurichtung der Druckplatten viel Zeit in Anspruch nimmt. Die Druckmaschinen verlangen eine erhebliche Geschwindigkeitsregelung, außerdem stellen sie hohe Anforderungen an gute Beleuchtung. Das sind alles Bedingungen, welche die Anwendung des Elektromotors empfehlen, zumal auch die Beleuchtung durch den Wegfall der Transmissionen bedeutend gebessert wird.

1) Vgl. A. W. Unger, Wie ein Buch entsteht (ANuG Bd. 175).

Straßenbahnen.[1]) Der Verkehr in den großen und mittleren Städten hat durch den elektrischen Betrieb der Straßenbahnen eine solche Zunahme erfahren, daß er mit Pferden überhaupt nicht mehr zu bewältigen wäre. Der elektrische Betrieb bietet in bezug auf Leistungsfähigkeit, Sauberkeit und Billigkeit derartige Vorteile, daß man den einzigen Nachteil, die Verunzierung des Straßenbildes durch die oberirdische Leitungsführung, ohne weiteres in Kauf nimmt. Dieser Nachteil wäre nur durch unterirdische Stromzuführung oder durch Verwendung von Akkumulatoren zum Betrieb von Straßenbahnwagen zu beseitigen gewesen; leider haben sich beide Einrichtungen nicht bewährt.

Die erste elektrische Bahn wurde im Jahre 1879 von der Firma Siemens & Halske gelegentlich der Gewerbeausstellung in Berlin vorgeführt. An sich ist die Aufgabe, ein Fahrzeug elektrisch zu betreiben, sehr einfach. Nur die Zuführung des Stromes zum Elektromotor und die Übertragung der Motorleistung auf die Laufräder des Wagens bieten Schwierigkeiten, erstere, weil der Motor sich dauernd fortbewegt, letztere, weil der Motor wesentlich höhere Umdrehungszahlen hat als die Laufräder, und weil der für die Übertragung zur Verfügung stehende Raum beschränkt ist.

Zunächst lag der Gedanke nahe, die Schienen zur Fortleitung des Stromes zu benutzen. Bald mußte man erkennen, daß eine ausreichende Isolierung der Schienen wegen der durch die großen Entfernungen zwischen Stromerzeuger und Motor bedingten hohen Spannungen nicht möglich ist. Man bildete deshalb das System der oberirdischen Leitungsführung aus wie es jetzt allgemein üblich ist (Abb. 126).

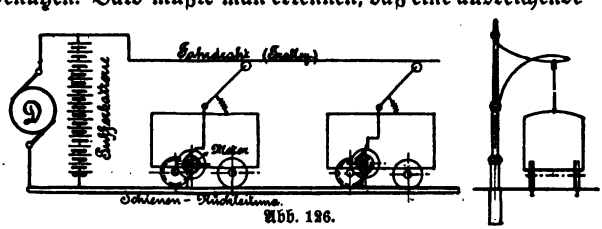


Abb. 126.

Der eine Pol des Stromerzeugers ist mit dem isoliert aufgehängten Arbeitsdraht (Fahrdraht, Trolleydraht), der andere mit den Schienen,eleisen der Straßenbahn verbunden. Auf der Decke des Straßenbahnwagens ist ein leichtes Stahlrohr befestigt, das oben eine Kontaktrolle

1) Vgl. E. Biedermann, Eisenbahnwesen (ANuG Bd. 144), und A. Liebmann, Die Klein- und Straßenbahnen (ANuG Bd. 322).

trägt, und das durch eine ebenfalls auf der Wagendecke befestigte Feder gegen den Fahrdraht gedrückt wird. Der Strom fließt von der Dynamo durch den Fahrdraht, durch die Kontaktrolle und die Verbindungsleitung zum Motor und von diesem durch die Schienen zurück zur Dynamo.

Für den Betrieb kommen alle Stromarten zur Verwendung:

Gleichstrom. Bei nicht zu großer Ausdehnung des Verkehrsgebietes wird für den Betrieb von Straßenbahnen fast ausschließlich Gleichstrom mit einer Spannung von 500—650 Volt verwendet. Hat die Bahn einen eigenen Bahnkörper, so geht man mit der Spannung wohl bis auf 1000 Volt. Die Verwendung von Gleichstrom bietet folgende Vorteile:

1. für die Stromzuführung genügt eine gegen Erde isolierte Leitung; dadurch wird die betriebssichere Herstellung der Leitungsanlage und die Ausbildung der Weichen und Kreuzungen wesentlich erleichtert,

2. der Gleichstrommotor mit Hauptstromwicklung paßt sich den Anforderungen des Straßenbahnbetriebes vorzüglich an. Beim Anfahren entwickelt er eine sehr große Zugkraft, welche notwendig ist, um den Wagen aus dem Ruhestand in Bewegung zu bringen. Der Hauptstrommotor ist nicht nur sehr leicht regelbar, er ändert sogar seine Geschwindigkeit selbsttätig, je nach der Belastung des Wagens oder nach der Steigung der Strecke, so daß seine Energieaufnahme annähernd gleich bleibt. Seine Zugkraft ist nur abhängig von der Stromstärke, nicht von der Spannung, was besonders an den Enden der Strecken von Bedeutung ist.

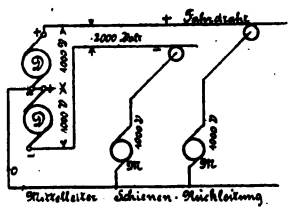


Abb. 127.

Der Gleichstrommotor mit Nebenschlußwicklung kommt nur bei Bergbahnen zur Verwendung, weil er bei der Talfahrt elektrische Energie in das Leitungsnetz zurückgeben kann.

Der einzige Nachteil des Gleichstromes ist der, daß sich die Motoren nur für eine Spannung von etwa 1000 Volt bauen lassen; hierdurch wird besonders bei großen Entfernungen ein erheblicher Aufwand an Leitungsmaterial bedingt. Durch Anwendung des Dreileitersystems (Abb. 127) hat man zwar die Leitungsspannung auf 2000 Volt gesteigert, aber für Fernbahnen reicht auch diese nicht aus. Um bei der Anwendung des Dreileitersystems die Schwierigkeiten der doppelten Fahrdrahtleitung zu umgehen, hat man an einzelnen Stellen das Fahrdrahtnetz in zwei Gruppen geteilt. In der einen liegt der Fahrdraht am + P

in der anderen am — Pol, die Schienengeleise bilden den gemeinsamen Mittelleiter.

Bei größeren Entfernungen ist man zur Verwendung von Einphasen- und Dreiphasenwechselstrom gezwungen.

Drehstrom (Dreiphasenwechselstrom). Wegen der Ausgestaltung der oberirdischen Leitungsanlage und auch wegen der Eigenschaften der Motoren eignet sich der Drehstrom wenig für den Betrieb von Straßenbahnen. Es müssen zwei isolierte Leitungen verlegt werden, wobei sowohl die hohe Spannung als auch die Ausbildung der Weichen und Kreuzungspunkte erhebliche Schwierigkeiten bieten.

Die Drehstrommotoren nehmen beim Anlauf sehr große Energiemengen auf, und da ihre Zugkraft im Verhältnis des Quadrates des Spannungsabfalles sinkt, muß für reichliche Bemessung der Leitungsquerschnitte Sorge getragen werden. Bei Wagen, die mit mehreren Motoren ausgerüstet werden müssen, macht auch die gleichmäßige Verteilung der Leistung Schwierigkeiten. Bei ungleichem Triebraddurchmesser wird der eine Motor leicht überlastet, während der andere leer läuft.

Einphasiger Wechselstrom wird in neuerer Zeit für Fern- und Vollbahnen fast ausschließlich verwendet. Er hat den Vorteil der hohen Spannung und eines einzigen Fahrdrahtes, außerdem nähern sich die einphasigen Kollektormotoren in ihrem Verhalten mehr den Gleichstrommotoren mit Hauptstromwicklung. Die Einphasenmotoren können auch streckenweise mit Gleichstrom betrieben werden. Da die Einphasenkollektormotoren in bezug auf die Funkenbildung am Stromabgeber besser mit Wechselstrom von geringer Periodenzahl betrieben werden, ist für diese Anlagen meist 25 in der Sekunde gebräuchlich.

Bei Gleichstrombetrieb wird der Strom meistens unmittelbar verteilt, d. h. den Motoren so zugeführt, wie er im Kraftwerk erzeugt wird. Bei langen Speiseleitungen werden Fernleitungsdynamos eingeschaltet, welche den Spannungsverlust, der im Verhältnis der Belastung steigt und fällt, selbsttätig ausgleichen (vgl. Seite 69 f). Bei Anlagen für große Verkehrsgebiete, z. B. Berlin, Leipzig, München usw., geschieht die Fernübertragung vermittels Drehstrom (10000 Volt), der dann in mehreren Unterwerken durch Einankerumformer oder Motorgeneratoren auf die gebräuchliche Gleichstromspannung umgeformt wird.

Bei Drehstrom- und Wechselstrombetrieb findet eine mittelbare Stromverteilung statt. Die Fernleitung wird mit sehr hoher Spannung betrieben (z. B. Leipzig — Halle — Magdeburg mit 60000 Volt), die dann

durch Transformatoren auf die für die Fahrleitung zweckmäßige Spannung: 3000—6000 Volt für Nebenbahnen und 10000 bis 20000 Volt für Vollbahnen, herabgesetzt wird.

Mit Rücksicht auf die durch das Anfahren der Wagen hervorgerufenen großen Belastungsschwankungen werden die Stromerzeugungs- oder Umformungsanlagen für Gleichstrombetrieb vielfach mit Akkumulatorenbatterien ausgerüstet, die man als Pufferbatterien bezeichnet. Sie sind dazu bestimmt, den Strom für die plötzlich auftretende Mehrbelastung herzugeben, im umgekehrten Fall aber die überschießende Energie der Stromerzeuger aufzunehmen, also eine gleichmäßige Belastung der Maschinen und damit einen wirtschaftlichen Betrieb zu ermöglichen.

Die Pufferwirkung der Batterie wird erhöht durch die Hinzufügung einer selbsttätig wirkenden Zusatzmaschine, nach ihrem Erfinder „Piranimaschine" genannt. Die Piranimaschine wird mit der Batterie in Reihe, d. h. hintereinandergeschaltet. Die Erregung wird von der Hauptleitung aus so beeinflußt, daß die Spannung bei wachsender Belastung steigt, bei sinkender Belastung fällt. In gleichem Maße wird die Batterie zur Stromlieferung herangezogen. Das Vorhandensein der Batterien bietet ferner den Vorteil, daß der geringe Strombedarf in den frühen Morgen- und in den späten Abendstunden von ihnen allein gedeckt, der Maschinenbetrieb also verkürzt werden kann.

Abb. 128.

Stromzuführung. Die Oberleitung, der Fahrdraht, besteht meistens aus hartgezogenem Kupferdraht von 50—100 qmm Querschnitt. Für die dünneren Drähte wird meist der runde, für die stärkeren meist der 8 förmige Querschnitt verwendet, der eine bessere Klemmbefestigung gestattet (Abb. 128).

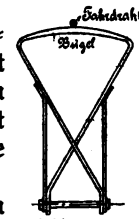


Abb. 129.

Der Abstand der Unterstützungspunkte beträgt in geraden Strecken etwa 30—40 m. In den Kurven muß der Abstand etwas verringert werden, besonders dann, wenn die Stromabnahme eine möglichst genaue Lage des Fahrdrahtes über Gleismitte erfordert.

Werden für die Stromabnahme Bügel aus Weichmetall verwendet, so kann der Fahrdraht etwas mehr von der Gleismitte abweichen. In geraden Strecken wird er sogar etwas zickzackförmig gelegt, um eine gleichmäßige Abnutzung des Bügels zu erzielen. Der Bügel hat al den Nachteil, daß er eine größere Abnutzung des Fahrdrahtes verursacht (Abb. 129).

Nur bei ganz kleinen Bahnanlagen genügt der Fahrdraht allein für die Stromzuführung. Meistens müssen noch Speiseleitungen angeordnet werden, die teils unterirdisch, teils oberirdisch verlegt sind. In Abständen von einigen hundert Metern werden die Speiseleitungen mit den Fahrdrähten durch ausschaltbare Leitungsstücke verbunden, und da auch die letzteren durch isolierende Befestigungen in einzelne Strecken geteilt sind, so ist es möglich, jede Teilstrecke im Falle von Störungen oder Reparaturarbeiten vollständig stromlos zu machen.

Die Rückleitung des Stromes geschieht fast durchweg durch die Schienen. Bei mittleren Anlagen genügt deren Querschnitt meist allein. Bei stark belasteten und langen Strecken müssen noch besondere Rückleitungskabel hinzugefügt werden, weil sonst zu große Spannungsunterschiede in den Schienen hervorgerufen werden, welche Stromentweichungen durch das Erdreich verursachen. (Vagabundierende Ströme.) Diese Stromentweichungen haben Störungen des Fernsprechbetriebes und elektrolytische Zerstörungen der Gas- und Wasserleitungsrohre zur Folge.

Gleichstrommotoren. Bei Straßenbahnmotoren ist gedrängte Bauart ein Haupterfordernis. Ferner müssen alle wesentlichen Teile, z. B. die Ankerwicklung und der Stromabgeber, gut zugänglich sein. Die Magnete, meist vier an der Zahl, bestehen aus weichem Stahlguß und sind mit lamellierten Polschuhen versehen. Das Magnetjoch ist so geformt, daß es als zweiteiliges Gehäuse den Anker und die Magnetspulen vollständig umschließt. Die beiden Teile sind durch Scharniere verbunden, so daß das Oberteil leicht aufklappbar ist. Die Ankerwicklung muß sorgfältig isoliert und wegen der starken Stöße besonders gut in den Nuten des Ankereisens befestigt werden. Abb. 130 läßt die Ansicht eines aufgeklappten Straßenbahnmotors erkennen.

Die Leistung dieser Motoren wird meist als Stundenleistung, z. B. 20—40 PS, angegeben. Darunter ist die Leistung zu verstehen, bei welcher nach einstündiger Dauer die zulässige Übertemperatur an keiner Stelle der Wicklungen überschritten wird. Die größte Zugkraft, welche der Motor beim Anziehen leistet, beträgt etwa das Zwei- bis Dreifache der Zugkraft, welche der Stundenleistung entspricht. Die Motoren werden für eine Umdrehzahl von 450—600 in der Minute gebaut. Die Übertragung von der Motorachse auf die Laufachse geschieht durch Zahnräder aus Stahl mit einem Übersetzungsverhältnis von 1:3,5 bis 1:6. Die Fahrgeschwindigeit der Straßenbahnen bewegt sich zwischen 15

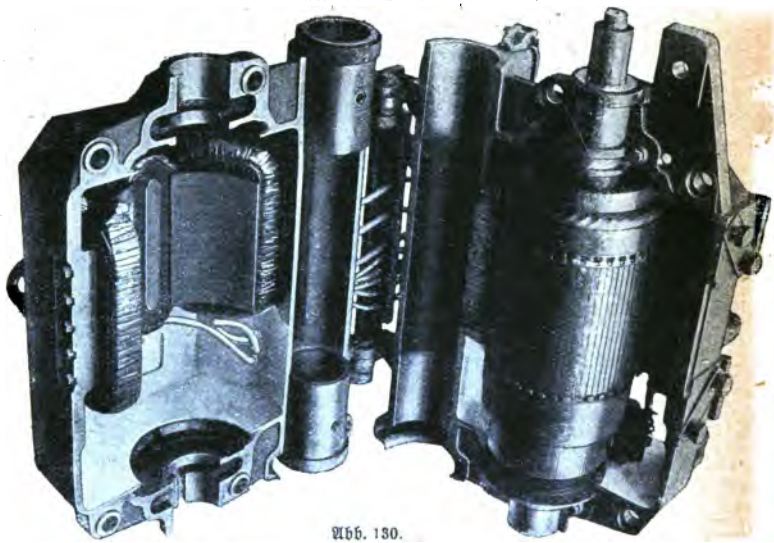


Abb. 130.
Straßenbahnmotor in aufgeklapptem Zustande.

und 30 km in der Stunde, erstere in den Straßen der Stadt, letztere außerhalb. Bei den Versuchen mit der elektrischen Schnellbahn Zossen — Marienfelde sind Geschwindigkeiten bis zu 200 km in der Stunde erreicht worden.

Kleine und mittelgroße Wagen, die auf fast ebenen Strecken verkehren, werden der Einfachheit halber nur mit einem Motor ausgerüstet, größere dagegen mit zwei Motoren, weil diese eine vorteilhaftere Schaltung ermöglichen. Beim Anfahren werden zuerst beide Motoren (Anker- und Magnetwicklungen) unter Zuhilfenahme von Widerständen hintereinandergeschaltet. Dann werden die Widerstände allmählich herausgenommen, später werden die beiden Motoren wieder mit Vorschaltung von Widerständen parallelgeschaltet, und wenn diese nunmehr wieder nach und nach abgeschaltet werden, dann arbeiten beide Motoren parallel ohne jeglichen Zusatzwiderstand.

Zur Herstellung aller dieser Schaltverbindungen dienen Schaltwalz (Kontroller), deren Einrichtung bereits bei den Anlaßapparaten schildert ist. Für die Umkehrung der Drehrichtung ist eine besond Umschaltwalze vorhanden, durch deren Betätigung die Ankerklem

vertauscht werden. Die Schaltwalzen sind gegeneinander so verriegelt, daß jede nur bewegt werden kann, wenn sich die andere in der Ausschaltstellung befindet.

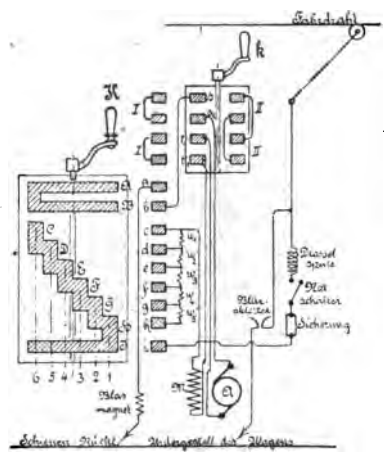


Abb. 131.

Das Schema einer solchen Schaltanlage zeigt Abb. 131, aber der Einfachheit halber nur für die Ausrüstung mit einem Motor. Der Strom kommt vom Fahrdraht und geht durch die Kontaktrolle (Trolley) durch die Hauptleitung zunächst zur Induktionsspule, welche den Durchgang atmosphärischer Entladungen verhindern soll, dann durch den Notschalter und die Hauptsicherung zu dem Kontakte i. In der Stellung 1 der Hauptkurbel K sind in der Schaltwalze die Kontakte $i—h$ und $a—b$ geschlossen, durch die Stellung 1 der Umschaltkurbel k werden die Kontakte s mit s_1 und t mit t_1 verbunden. Der Strom läuft dann über $i—h$ durch alle Widerstände $w_1—w_5$ zur Magnetwicklung M, dann zur Umschaltwalze $t—t_1$ zum Anker A und über $s—s_1$, $b—a$ zum Blasmagnet und von da zum Untergestell. Beim Weiterschalten der Hauptkurbel K werden bei den Stellungen 2 bis 6 die Widerstände w_1 bis w_5 allmählich abgeschaltet, so daß der Motor dann mit voller Kraft arbeitet.

Das Ausschalten geschieht dadurch, daß die Hauptkurbel in umgekehrter Richtung (Stellung 6—1) bewegt wird. Soll die Drehrichtung geändert werden, dann wird die Umschaltkurbel auf Stellung II gedreht, wodurch s mit t und s_1 mit t_1 verbunden werden, die Stromrichtung im Anker also geändert wird. Der Blasmagnet dient dazu, die beim Ausschalten auftretenden Funken durch die Wirkung der magnetischen Kraftlinien möglichst schnell zum Verlöschen zu bringen. Etwaige atmosphärische Entladungen sollen durch die Funkenstrecke unmittelbar am Untergestell, d. h. zur Erde abgeleitet werden.

Drehstrommotoren. Die Änderung der Drehrichtung kann einfach durch Vertauschen zweier Leitungen, die zum Ständer führen, erzielt werden. Für die Geschwindigkeitsänderung kommt bei kleineren

Motorwagen Dreschmaschine
Abb. 132.

Motoren nur die Wiederstandsregelung im Rotorstromkreis in Frage. Die für größere Motoren angewendete Polumschaltung bedingt sehr verwickelte Verbindungen. Bei einem 16poligen Motor werden z. B. beim Anfahren die 16 Pole hintereinander geschaltet, und nachher werden zur Erzielung der doppelten Geschwindigkeit je acht Pole hintereinander und die beiden Gruppen parallelgeschaltet. Die Kaskadenschaltung bedingt zwei Motoren, die beim Anfahren hintereinandergeschaltet werden, aber nicht in Parallelschaltung betrieben werden können.

Einphasenmotoren (Kollektormotoren). Die Regelung beim Anlassen geschieht durch Änderung der zugeführten Spannung. Zu diesem Zwecke wird die Sekundärwicklung des Transformators in mehrere Abteilungen zerlegt. Durch einen Stufenschalter wird dem Motor allmählich die volle Spannung zugeführt. Die Änderung der Fahrgeschwindigkeit wird durch Verschieben der Bürstenbrü- erreicht. Die Einphasenkollektormotoren können sowohl in Reihen- a auch in Parallelschaltung arbeiten; sie geben in beiden Fällen l volle Zugkraft.

Der Stromverbrauch für ein Wagenkilometer beträgt bei kleine

Abb. 133. Elektrisch betriebener Pflug.

Wagen auf ebenen Strecken 325—400 Wattstunden, bei größeren Wagen mit erheblichen Steigungen 500—600 Wattstunden.

Landwirtschaft. Die Besitzer großer Güter haben die Vorteile der elektrischen Kraftübertragung schon frühzeitig erkannt. Unter Benutzung kleiner Wasserkräfte oder der Dampfanlagen der benachbarten Zuckerfabriken und Brennereien haben sie kleine Stromerzeugungsanlagen errichtet und von hier aus ihre Betriebe mit elektrischer Energie versorgt. Durch die ausgedehnten Leitungsnetze der Überlandzentralen ist es aber heute auch den Besitzern kleiner Güter ermöglicht, sich die Vorteile des elektrischen Stromes nutzbar zu machen. Für die Beleuchtung der Ställe und Scheunen ist das elektrische Licht infolge seiner Feuersicherheit wie kein anderes geeignet. In den Wohnräumen wird es infolge seiner sofortigen Betriebsbereitschaft als große Annehmlichkeit empfunden. Noch viel wichtiger ist aber der Elektromotor zum Antrieb von Dreschmaschinen, Pumpen, Häckselschneidern, Schrotmühlen und ähnlichen landwirtschaftlichen Maschinen. Dort, wo große Energiemengen billig zur Verfügung stehen, kann auch der elektrisch betriebene Pflug in erfolgreichen Wettbewerb mit dem Dampfpflug treten. Der Elektromotor ist in erster Linie berufen, die immer größer werdende Leutenot auf dem Lande zu mildern.

Die Abb. 132 u. 133 zeigen einige elektrische Kraftantriebe in der Landwirtschaft. Infolge seines geringen Gewichtes ist der Elektromotor leicht fahrbar zu machen. Zur Fortbewegung kleiner Motoren genügt

eine Tragbahre. Auf freiem Felde ist der Motor, wenn die Leitung einmal gelegt ist, sehr bequem zu verwenden, denn für ihn braucht nicht, wie für die Lokomobile, Wasser und Kohle angefahren zu werden. Seine Bedienung stellt geringe Anforderungen, ein Vorteil, der für einfache, ländliche Verhältnisse nicht zu unterschätzen ist. Die Kosten für die Instandhaltung des Elektromotors sind ungleich niedriger, als die für einen Lokomobildampfkessel, der mit ungereinigtem Wasser gespeist wird. Alles in allen kann man ohne Übertreibung sagen, daß der Elektromotor der beste Freund des Landmannes ist.

Einführung in die Technik. Von Geh.-Reg.-Rat Prof. Dr. H. Lorenz. (AnuG Bd. 729.) Kart. M. 1.60, geb. M. 1.90

Von berufener Seite wird in diesem Bändchen weiteren Kreisen, vor allem angehenden Technikern, ein Einblick in die Arbeitsweise der Technik gegeben und gezeigt, aus welchen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Grundgedanken ihre Einrichtungen hervorgegangen sind und welche Entwicklung ihre Leistungen auf den Einzelgebieten genommen haben.

Die elektrischen Maschinen. Von Dr.-Ing. R. Bachmann. (AnuG Bd. 713.) Kart. M. 1.60, geb. M. 1.90.

Grundriß der Elektrotechnik für technische Lehranstalten. Von Prof. Dr. W. Brüsch. Mit 248 Figuren. Geb. M. 3.—

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Oberingenieur A. Rotth. 2. Aufl. Mit 74 Abbildungen. (AnuG Bd. 391.) Kart. M. 1.60, geb. M. 1.90.

Auf physikalischer Grundlage werden unter Vermeidung schwieriger mathematischer Formeln die wichtigsten Gesetze der Elektrotechnik entwickelt und ihre praktische Anwendung veranschaulicht.

Einführung in die Elektrotechnik. Physik. Grundlagen und technische Ausführung. Von Prof. R. Rinkel. Mit 445 Abb. i. T. Geh. M. 11.20, geb. M. 12.—

„Unter den vielen Büchern über Elektrotechnik für Nicht-Fachleute nimmt das vorliegende, von einem wirklichen Fachmanne geschriebene, eine rühmliche Stellung ein, da es nicht spielerisch unterhalten, sondern ernstere Leser belehren will und kann." (Archiv der Mathematik u. Physik.)

Leitfaden zum elektrotechnischen Praktikum. Von Prof. Dr. G. Brion. Mit 380 Figuren. Geh. M. 10.—, geb. M 11.—

„... Hier kann nun Brions ‚Leitfaden' helfend eintreten, der gewissermaßen eine ‚elektrische Meßkunde' darstellt und eingehende Auskunft über die zahllosen Fragen gibt, die so häufig bei der Handhabung elektrischer Apparate auftreten...." (Monatshefte f. d. naturw. Unterr.)

Allgemeine Elektrotechnik. Hochschulvorlesungen von Prof. P. Janet. Deutsche Bearbeitung von Prof. Fritz Süchting u. Dipl.-Ing. Ernst Riecke.

I. Band: Grundlagen — Gleichströme. Bearbeitet von Fritz Süchting. Mit 180 Figuren im Text. Geh. M. 6.—, geb. M. 7.—

„Mit viel Verständnis und Klarheit und mit einem dem Verfasser eigenen glücklichen Lehrverfahren sind die verschiedenen Abschnitte über die Grundlagen der Elektrotechnik abgefaßt und aneinandergereiht." (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.)

Leitfaden der Elektrizität im Bergbau. Von Prof. Dr. Wilhelm Brüsch. Mit 411 Abbildungen im Text. Geb. M. 5.—

Der vorliegende Leitfaden sucht den Bedürfnissen der Fachschulen, sowie der bereits im Betriebe stehenden Beamten durch Berücksichtigung alles dessen Rechnung zu tragen, was im Bergbaubetriebe für die Elektrizität in Betracht kommt.

Das Regulierproblem in der Elektrotechnik. Von Professor Dr.-Ing. A. Schwaiger. Mit 28 Abbildungen. Geh. M. 2.80, geb. M. 3.60

„Es ist interessant zu lesen, wie ein Mann der Praxis das wichtige Problem erfaßt und in eleganter Weise mathematisch behandelt." (Monatshefte für den naturw. Unterricht.)

Lehrbuch der Motorenkunde. Von Prof. Dr. J. W. Mayer. Für gewerbl. u. ichl. Fortbildungsch. bearb. von Prof. Dr. E. Czap. Mit 149 Fig. Geb. M. 2.—

‚Dieses Buch ist eine ganz vorzüglich klar und präzis geschriebene Arbeit, die für jede einzelne Motorenart die gerade für sie charakteristischen Merkmale hervorhebt. Die Abbildungen sind zweckentsprechend ausgewählt." (Industrieller Anzeiger.)

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen

---

Maschinen und Apparate der Starkstromtechnik, ihre Wirkungsweise und Konstruktion. Von Elektro-Ingenieur G. W. Meyer. Mit 72 Fig. Geh. M. 15.—, geb. M. 16.— I. Teil: Gleichstrom. II. Teil: Wechselstrom.

„Das Buch stellt durch die übersichtliche Anordnung des Stoffes, die Veranschaulichung des Textes durch zahlreiche Skizzen und Abbildungen und durch Beschränkung alles theoretischen Beiwerks ein vorzügliches Nachschlagewerk für den in der Praxis stehenden Ingenieur dar."
(Naturwissenschaftliche Wochenschrift.)

Theorie der Elektrizität. Von Prof. Dr. M. Abraham. In 2 Bänden. Mit zahlreichen Figuren.

I. Band. Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität. Mit einem einleit. Abschnitte über das Rechnen mit Vektorgrößen in der Physik. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. A. Föppl. 5. Aufl. Bearb. von Prof. Dr. M. Abraham. Geh. M. 13.—, geb. M. 14.—. II. Band. Elektromagnet. Theorie d. Strahlung. V. Prof. Dr. M. Abraham. 3. Aufl. Geb. M. 11.—

„Man darf wohl sagen, daß das Werk einen hohen Grad von Vollendung erreicht hat, nicht nur dem sachlichen Inhalt nach, sondern auch als Lehrbuch: Die Darstellung ist leicht verständlich, gefällig, übersichtlich; Exkurse, die den Gesamteindruck des Maxwellschen Lehrgebäudes beeinträchtigen könnten, sind vermieden; die Beispiele sind so gewählt, daß sie mit den allgemein geläufigen Anfangsgründen der höh. Mathematik bewältigt werden können." (Elektrotechnik u. Maschinenbau.)

Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität und des Magnetismus. Von Prof. Dr. Cl. Schaefer. Mit 32 Figuren. (Sammlg. math.-phys. Lehrb. 3) Geh. M. 3.40, geb. M. 3.80

„Die Darstellung ist außerordentlich leicht verständlich; es ist dem Verf. gelungen, den wesentlichen Kern der Faraday-Maxwellschen Theorie herauszuarbeiten und ihre Bedeutung für den Fortschritt unserer Naturerkenntnis zur lebendigen Anschauung zu bringen." (Arch. d. Math. u. Phys.)

Die Theorie der Wechselströme. Von Geh.-Reg.-Rat Prof. Dr. E. Orlich. Mit 37 Figuren. (Sammlg. math.-phys. Lehrb. 12) Geh. M. 2.40, geb. M. 2.80

„Das Buch enthält auf dem beschränkten Raume eine große Fülle für die Wechselstromtechnik wichtiger Fragen in klarer und übersichtlicher Form und kann allen, die sich für das Gebiet interessieren, warm empfohlen werden." (Naturwissenschaftliche Rundschau.)

Experimentelle Elektrizitätslehre. Mit besonderer Berücksichtigung der neueren Anschauungen und Ergebnisse dargestellt von Prof. Dr. H. Starke. 2. Auflage. Mit 334 Abbildungen. Geb. M. 12.—

„... Ein ganz ausgezeichnetes, hohen Anforderungen entsprechendes Buch. Für die Technik des Experimentierens gibt es durch die klaren Abbildungen dankenswerte Winke." (Sächs. Schulz.)

Beispiele und Übungen aus Elektrizität und Magnetismus. Von Prof. Dr. Robert Weber. Mit 74 Figuren. Geh. M. 4.80, geb. M. 5.25

Enthält 874 zahlenmäßige Beispiele aus allen Gebieten der Elektrizität und des Magnetismus und seiner Anwendungen. Ihr Zweck ist, zeitgemäße Zahlenangaben für technische Schulen, für den praktischen Elektriker, auch für Mechaniker, Telegraphenbeamte, Verwaltungsorgane usw. zu geben, und damit die vorkommenden Verhältnisse bequemer zu illustrieren.

Elektrische Wellentelegraphie. 4 Vorlesungen von Prof. J. A. Fleming. Deutsche Ausgabe von Prof. Dr. E. Aschkinaß. Mit 53 Abb. Geb. M. 5.—

„Da der Verfasser selbst hervorragenden Anteil an diesen Versuchen genommen hat, gestaltet sich seine Schilderung äußerst lebhaft, ja stellenweise dramatisch; und doch versäumt er auch hier nicht, anderen Forschern und ihren Systemen, so dem System Slaby-Arco, ausführlich gerecht zu werden." (Naturwissenschaftliche Rundschau.)

Aus eigener Kraft. Bilder von deutscher Technik u. Arbeit für die reifere Jugend. Von Dipl.-Ing. C. Weihe. Mit 20 Abb. auf 10 Tafeln. Kart. M. 3.60, geb. M. 4.60

Zeigt der Jugend, was die deutsche Technik während des Kriegs geleistet hat und welche Aufgaben ihr für die kommende Zeit bevorstehen. Im Rahmen einer spannenden Erzählung lernen wir Deutschlands Rohstoffversorgung, seine Kriegs- und Friedenswirtschaft kennen, hören von Luftstickstoffgewinnung, der Kohlen- und Eisenförderung, besuchen Munitionsfabriken und chem. Laboratorien und erhalten auch auf die brennenden Fragen: „Was werden wir essen?", „Was werden wir uns kleiden?" Antwort. Ohne sich ins Einzelne zu verlieren, gibt das trefflich ausgestattete Werkchen einen Überblick über die gesamte deutsche Technik und Industrie.

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlages und der Buchhandlungen

---

TEUBNERS TECHNISCHE LEITFÄDEN

In Bänden zu 8—10 Bogen. gr. 8. Geb.

Die Leitfäden wollen dem Studierenden an Technischen Hochschulen und Universitäten in knapper, wissenschaftlich einwandfreier und zugleich übersichtlicher Form das Wesentliche des Tatsachenmaterials an die Hand geben, das ihm in der Vorlesung vorgetragen wird, um ihm dessen Aneignung — besonders auch die Vorbereitung zum Examen — zu erleichtern und ihm die Anschaffung und Durcharbeitung umfänglicher und kostspieliger, in der Darstellung meist für diese Zwecke zu individuell gehaltener Handbücher zu ersparen. Auf klare Gliederung des Stoffes auch in der äußeren Form der Anordnung wie auf seine Veranschaulichung durch einwandfrei ausgeführte Zeichnungen wird besonderer Wert gelegt.

Auf dem Gebiete der Mathematik und des Maschinenbaus

sind bisher erschienen:

Bd. I. Analytische Geometrie. Von Dr. R. Fricke, Professor an der Technischen Hochschule zu Braunschweig. Mit 96 Fig. im Text. [VI u. 135 S.] 1915. Geb. M. 2.80

Bd. II. Elemente der darstellenden Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Professor an der Eidgenöss. Technischen Hochschule Zürich. Mit 134 Fig. im Text. [IV u. 84 S.] 1917. Steif geh. . . M. 2.—

Bd. III. Darstellende Geometrie. Von Dr. M. Großmann, Professor an der Eidgenöss. Techn. Hochschule Zürich. Mit 109 Fig. [VI u. 138 S.] 1915. Geb. M. 2.80

Bd. IV./V. Differential- und Integralrechnung. Von Dr. L. Bieberbach, o. ö. Professor an der Universität Frankfurt. Bd. I: Differentialrechnung. Mit 32 Figuren im Text. [VI u. 130 S.] 1917. Steif geh. M. 2.80. Bd. II: Integralrechnung. Mit 25 Figuren im Text. [VI u. 142 S.] 1918. Steif geh. M. 3.40

Bd. VI. Mechanische Technologie der Maschinenbaustoffe. Von R. Escher, Professor an der Eidgenöss. Technischen Hochschule Zürich. Mit 416 Fig. im Text. [VI u. 166 S.] 1918. Steif geh. . . M. 3.60

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen

U. a. sind in Vorbereitung (1919):

Höhere Mathematik. 2 Bde. Von Dr. Rudolf Rothe, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Die graphischen Methoden der Differentialrechnung. Von Dr. Gümbel, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Praktische Geometrie. Von Dr.-Ing. Heinrich Hohenner, Professor an der Technischen Hochschule Darmstadt.

Maschinenelemente. 2 Bde. Von Karl Kutzbach, Professor an der Techn. Hochschule Dresden.

ermodynamik. 2 Bde. Von Geh. Hofrat Richard Mollier, Professor an r Technischen Hochschule Dresden.

lbenkraftmaschinen. Von Dr.-Ing. dolf Nägel, Professor an der Techschen Hochschule Dresden.

Dampfturbinen u. Turbokompressen. Von Dr.-Ing. H. Baer, Professor an der Technischen Hochschule zu Breslau.

Wasserkraftmaschinen und Kreiselpumpen. Von Oberingenieur Dr.-Ing. Franz Lawaczeck, Halle.

Grundlagen der Elektrotechnik. 2 Bde. Von Dr. E. Orlich, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Elektrische Maschinen. 3 Bde. Von Dr.-Ing. M. Kloß, Professor an der Technischen Hochschule Berlin.

Grundlagen der Flugtechnik. Von Dr.-Ing. Bader, Berlin.

Textilwesen. Von Dr.-Ing. h. c. G. Rohn, Schönau b. Chemnitz.

VERLAG VON B. G. TEUBNER IN LEIPZIG UND BERLIN

Lehrb. der Experimentalphysik. V. Geh.-Reg.-R. Prof. Dr. A. Wüllner. 4 Bde. 6. bezw. 5. Aufl. Geh. M. 32.—, geb. M. 64.— (Die Bände sind auch einzeln käuflich.)

„Der Inhalt umfaßt alles, was gegenwärtig auf d. Gebiete d. Wissenschaft bekannt ist." (Ztschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver.)

Repertorium der Physik. Von Prof. Dr. R. H. Weber u. Prof. Dr. R. Gans. 2 Bde. I. Bd.: Mechanik und Wärme. Unter Mitarbeit von F. A. Schulze und P. Hertz. 1. Teil: Mechanik, Elastizität, Hydrodynamik u. Akustik. Mit 126 Fig. im Text. Geb. M. 8.—. 2. Teil: Kapillarität, Wärme, Wärmeleitung, kinetische Gastheorie u. statist. Mechanik. Mit 72 Fig. M. 11.—, geb. M. 12.—. II. Bd. In Vorb.

Das Repertorium soll mehr bringen als die elementaren Lehrbücher, indem es neuere Untersuchungen behandelt, damit gewissermaßen das Studium der Einzelwerke über besondere Gebiete vorbereitet und Auffinden und Verständnis der Originalarbeiten erleichtert.

Physik in graphischen Darstellungen. Von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 1373 Figuren auf 213 Tafeln mit erläut. Text. Geh. M. 9.—, geb. M. 10.—

„Die Anordnung ist systematisch und folgt der üblichen Einteilung der Physik in ihre einzelnen Zweige. Das Buch hat sicher einen hohen Wert." (Unterrichtsbl. f. Mathematik u. Naturwissenschaft.)

Taschenbuch für Mathematiker und Physiker. Unt. Mitwirk. namhafter Fachgenossen hrsg. von Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach u. Prof. Dr. R. Rothe. I. Jahrg. 1909. Mit Bildnis Lord Kelvins. Geb. M. 6.—. II. Jahrg. 1911. Mit Bildnis H. Minkowskis. Geb. M. 7.—. III. Jahrg. 1913. Mit Bildnis Fr. Kohlrauschs. Geb. . . . . M. 6.—

Kleiner Leitfaden der praktischen Physik. Von Prof. Dr. Fr. Kohlrausch. 8. Aufl., beard. v. Prof. Dr. H. Scholl. Mit zahlr. Fig. [U. d. Pr. 1919.]

Lehrbuch der Physik. Von Direktor E. Grimsehl. Zum Gebrauch beim Unterricht, bei akademischen Vorlesungen und zum Selbststudium. In 2 Bd. 4. Aufl. bearbeitet von Prof. Dr. H. Starke u. Dr. W. Hillers. [U. d. Pr. 1919.] I. Bd Mechanik, Wärmelehre, Akustik, Optik. Mit ca. 1065 Fig. II. Bd. Magnetismus und Elektrizität. Mit ca. 526 Fig.

„Das Werk behandelt den Stoff in klarer, einfacher Weise, durch Beispiele die gegebenen Betrachtungen festigend, so daß auch beim Selbststudium nirgends Schwierigkeiten auftreten werden." (Dingl. Polyt. Journ.)

Lehrbuch d. praktischen Physik. Von Prof. Dr. Fr. Kohlrausch. 12., verm. Aufl. In Gemeinschaft mit H. Geiger, E. Grüneisen, L. Holborn, W. Jaeger, E. Orlich, K. Scheel, O. Schönrock hrsg. von E. Warburg. Mit 389 Fig. Geb. M. 11.—

Die neue Auflage enthält zahlreiche Zusätze und Ergänzungen, welche durch den Fortschritt der Wissenschaft geboten waren. Einzelne Abschnitte, z. B. über den Druck, die Saccharimetrie, Radioaktivität und einige elektrische Kapitel haben deshalb größere Veränderungen erfahren.

Physik. Unter Redaktion v. Dr. E. Warburg. Mit 106 Abbildungen. (Die Kultur der Gegenwart. Hrsg. von Prof. P. Hinneberg. Teil III, Abt. III, 1.) Geh. M. 22.—, geb. M. 24.—, in Halbfranz . . . M. 30.—

Inhalt: I. Mechanik: E. Wiechert. II. Akustik: F. Auerbach. III. Wärme: E. Dorn, A. Einstein, F. Henning, L. Holborn, W. Jäger, H. Rubens, E. Warburg, W. Wien. IV. Elektrizität: F. Braun, J. Elster, R. Gans, E. Gehrcke, H. Geitel, E. Gumlich, W. Kaufmann, E. Lecher, H. A. Lorentz, St. Meyer, O. Reichenheim, F. Richarz, E. v. Schweidler, H. Starke, W. Wien. V. Optik: F. Exner, E. Gehrcke, O. Lummer, O. Wiener, P. Zeeman. VI. Allgemeine Gesetze und Gesichtspunkte. A. Einstein, F. Hasenöhrl, M. Planck, W. Voigt, E. Warburg.

Physik und Kulturentwicklung durch technische u. wissenschaftl. Erweiterung der menschlichen Naturanlagen. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. O. Wiener. Mit 72 Abb. Geh. M. 4.40, geb. . . . . M. 5.50

Der bekannte Leipziger Physiker zeigt in sehr interessanter Weise, wie durch Erweiterung der Sinne mit Hilfe von Apparaten, der Geistesanlagen durch das künstliche Gedächtnis, die Bücher, und durch abkürzende wissenschaftliche Verfahren, und der Gliedmaßen durch Werkzeuge und Maschinen die Mannigfaltigkeit und der Freiheitsumfang der menschlichen Betätigungen fortwährend vergrößert wird. Das Werk gibt eine bisher noch nicht vorhandene knappe Darstellung der Leistungen der Naturwissenschaft und Technik.

Grimsehls physikal. Schülerübungen. Auswahl für Unterstufe. Von Dr. Berend Kröger. [U. d. Pr. 1919.]

Enthält eine Sammlung der wichtigsten, von dem Begründer des wissenschaftlichen physikalischen Schulversuchs ausgearbeiteten Übungen für die Hand des Schülers sowie zahlreiche praktische Anweisungen zur Selbstanfertigung physikal. und techn. Apparate.

Auf sämtliche Preise Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist einzeln käuflich

Geheftet M. 1.20,*)
gebunden M. 1.50*)

Verlag B. G. Teubner in Leipzig und Berlin

Verzeichnis der bisher erschienenen Bände innerhalb der Wissenschaften alphabetisch geordnet
Werke, die mehrere Bände umfassen, auch in einem Band gebunden erhältlich

I. Religion, Philosophie und Psychologie.

Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2. Aufl. (Bd. 345.)
— **Einführung in die Geschichte der Ä.** Von Dr. H. Nohl. (Bd. 602.)
Astrologie siehe Sternglaube.
Aufgaben u. Ziele d. Menschenlebens. Von Prof. Dr. J. Unold. 4. Aufl. (Bd. 12.)
Bergson, Henri, der Philosoph moderner Relig. Von Pfarrer Dr. E. Ott. (Bd. 480.)
Berkeley siehe Locke, Berkeley, Hume.
Buddha. Leben u. Lehre d. Buddha. Von Prof. Dr. R. Pischel. 3. Aufl., durchges. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Titelbild u. 1 Taf. (Bd. 109.)
Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr G. Soeur. Mit 1 Bildnis. 2. Aufl. (Bd. 247.)
Christentum. Aus der Werdezeit des Chr. V. Prof. Dr. J. Geffcken. 2. A. (Bd. 54.)
— **Vom Urchristentum z. Katholizismus.** V. Prof. Dr. H. Frhr. v. Soden. (690.)
— **Christentum und Weltgeschichte** seit der Reformation. Von Prof. D. Dr. K. Sell. 2 Bde. (Bd. 297, 298.)
— siehe Jesus, Mystik im Christentum.
Ethik. Grundzüge der E. Mit bes Berücksichtigung der pädagog. Probleme. Von E. Wentscher. (Bd. 397.)
— s. a. Aufg. u. Ziele, Sexualethik, Sittl. Lebensanschauungen, Willensfreiheit.
Freimaurerei, Die. Eine Einführung in ihre Anschauungswelt u. ihre Geschichte. Von Geh. Rat Dr. L. Keller. 2. Aufl. von Geh. Archivrat Dr. G. Schuster. (463.)
Griechische Religion siehe Religion.
Handschriftenbeurteilung, Die. Eine Einführung in die Psychol. d. Handschrift. Von Prof. Dr. G. Schneidemühl. Mit 51 Handschriftennachbild. i. T. u. auf 2 Taf., durchges. u. erw. Aufl. (Bd. 514.)
[illegible]entum siehe Mystik.
[illegible]nistische Religion siehe Religion.
[illegible]arts Lehren und Leben. Von Pastor Flügel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis [illegible]arts. (Bd. 164.)
[illegible] siehe Locke, Berkeley, Hume.
[illegible]ptismus und Suggestion. Von Dr. [illegible]römner. 3. Aufl. (Bd. 199.)
Jesuiten, Die. Eine histor. Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 4. Aufl. (Bd. 49.)
Jesus. Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Kirchenrat Pfarrer D. Dr. P. Mehlhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)
— **Die Gleichnisse Jesu.** Zugleich Anleitung zum quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Prof. D. Dr. H. Weinel. 4. Aufl. (Bd. 46.)
Israelitische Religion siehe Religion.
Kant, Immanuel. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. O. Külpe. 4 Aufl. hrsg. v. Prof. Dr. A. Messer. Mit 1 Bildnis Kants. (Bd. 146.)
Kirche s. Staat u. Kirche.
Kriminalpsychologie s. Psychologie d. Verbrechers, Handschriftenbeurteilung.
Lebensanschauungen s. Sittliche L.
Locke, Berkeley, Hume. Die großen engl. Philos. Von Oberlehrer Dr. P. Thormeyer. (Bd. 481.)
Logik. Grundriß d. L. Von Dr. K. J. Grau. (Bd. 637.)
Luther, Martin L. u. d. deutsche Reformation. Von Prof. Dr. W. Köhler. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Luthers. (Bd. 515.)
— s. auch Von L. zu Bismarck Abt. IV.
Mechanik d. Geisteslebens, Die. V. Geh. Medizinalrat Direktor Prof. Dr. M. Verworn. 4. Aufl. Mit Fig. (Bd. 200.)
Mission. Die evangelische. Geschichte. Arbeitsweise. Heutiger Stand. V. Pastor S. Baudert. (Bd. 406.)
Mystik in Heidentum u. Christentum V. Prof. Dr. Edv. Lehmann. 2. Aufl. V. Verf. durchges. übersetz. v. Anna Grundtvig geb. Quittenbaum. (Bd. 217.)
Mythologie, Germanische. Von Prof Dr. J. von Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
Naturphilosophie, Die moderne. V. Priv.-Doz. Dr. J. M. Verweyen. (Bd. 491.)
Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. H. Frh. v. Soden. 3. Aufl. Mit 2 Kart., 1 Plan und 6 Ansicht. (Bd. 6.)
— **V. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden.** Nach d. neuest. Ausgrabgn. u. Forschgn. dargest. von Prof. Dr. P. Thomsen. 2., neubearb. Aufl. M. 37 Abb. (260.)

*) Hierzu Teuerungszuschläge des Verlags und der Buchhandlungen.

1. 18. 400 T

Paulus, Der Apostel, u. sein Werk. Von Prof. Dr. E. Bischer. (Bd. 309)
Philosophie, Die. Einführ. in d. Wissenschaft, ihr Wesen u. ihre Probleme. V. Oberrealschuldir. H. Richert. 3. Aufl. (Bd. 186.)
— **Einführung in die Ph.** Von Prof. Dr. R. Richter. 4. Aufl. von Priv.-Doz. Dr. M. Brahn. (Bd. 155.)
— Führende Denker. Geschichtl. Einleit. in die Philosophie. Von Prof. Dr. J. Cohn. 3. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)
— Die Phil. d. Gegenw. in Deutschland. V. Prof. Dr. O. Külpe. 6. Aufl. (41.)
— Philosophisches Wörterbuch. V. Oberlehrer Dr. P. Thormeyer. 2. Aufl. (Bd. 529.)
Poetik. Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
Psychologie, Einführ. i. d. Ps. V. Prof. Dr. E. von Aster. Mit 4 Abb. (Bd. 492.)
— Psychologie d. Kindes. V. Prof. Dr. R. Gaupp. 4. Aufl. M. 17 Abb. (213/214.)
— Psychologie d. Verbrechers. (Kriminalpsychol.) V. Strafanstaltsdir. Dr. med. H. Pollitz. 2. Aufl. M. 5 Diagr. (Bd. 248.)
— Einführung in die experiment. Psychologie. Von Prof. Dr. N. Braunshausen. Mit 17 Abb. i. T. (Bd. 484.)
— s. auch Handschriftenbeurteilg., Hypnotismus u. Sugg., Mechanik d. Geistesleb., Poetik, Seele d. Menschen, Veranlag. u. Vererb., Willensfreiheit; Pädag. Abt. II.
Reformation siehe Calvin, Luther.
Religion. Die Stellung der R. im Geistesleben. Von Konsistorialrat Lic. Dr. H. Kalweit. 2. Aufl. (Bd. 225.)
— Relig. u. Philosophie im alten Orient. Von Prof. Dr. E. von Aster. (Bd. 521.)
— Einführung in die allg. R.-Geschichte. Von Prof. D. Dr. K. Beth. (Bd. 658.)
— Die Religion der Griechen. Von Prof. Dr. E. Samter. M. Bilderanh. (Bd. 457.)
— Hellenistisch-röm. Religionsgesch. Von Hofprediger Lic. A. Jacoby. (Bd. 584.)
— Die Grundzüge der israel. Religionsgeschichte. Von Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 3. Aufl. Von Prof. Dr. A. Bertholet. (Bd. 52.)
— Religion u. Naturwissensch. in Kampf u. Frieden. Ein geschichtl. Rückbl. Von Pfarrer Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
— **Die relig. Strömungen der Gegenwart.** Von Superintendent D. A. H. Braasch. 3. Aufl. (Bd. 66.)
— s. a. Bergson, Buddha, Calvin, Christentum, Luther.
Rousseau. Von Prof. Dr. H. Henkel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)
Schopenhauer, Seine Persönlichk., s. Lehre, s. Bedeutg. V. Oberrealschuldir. H. Richert. 3. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 31.)
Seele des Menschen, Die. Von Geh. Rat Prof. Dr. J. Rehmke. 4. Aufl. (Bd. 36.)
— siehe auch Psychologie.
Sexualethik. Von Prof. Dr. H. E. Timerding. (Bd. 592.)
Sinne d. Menschen, D. Sinnesorgane und Sinnesempfindungen. Von Hofrat Prof. Dr. J. K. Kreibig. 3., verbesserte Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)
Sittl. Lebensanschauungen d. Gegenwart. Von Geh. Kirchenrat Prof. D. O. Kirn. 3. Aufl. durchges. von Prof. D. Dr. O. Stephan. (Bd. 177.)
— s. a. Ethik, Sexualethik.
Spencer, Herbert. Von Dr. K. Schwarze. Mit 1 Bildnis. (Bd 245.)
Staat und Kirche in ihrem gegenseitigen Verhältnis seit der Reformation. Von Pastor Dr. A. Pfannkuche. (Bd. 485.)
Sternglaube und Sterndeutung. Die Geschichte u. d. Wesen der Astrologie. Unter Mitw. von Geh. Rat Prof. Dr. E. Bezold dargestellt von Geh. Hofrat Prof. Dr. Fr. Boll. Mit 1 Sternkarte u. 20 Abb. (Bd. 638.)
Suggestion s. Hypnotismus.
Testament, Das Alte, seine Geschichte und Bedeutung. Von Prof. Dr. P. Thomsen. (Bd. 609.)
— Neues. Der Text d. N. T. nach seiner geschichtl. Entwickl. Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit Taf. 2. Aufl. (Bd. 134.)
Theologie. Einführung in die Theologie. Von Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)
Urchristentum siehe Christentum.
Veranlagung u. Vererbung. Geistige. V. Dr. phil. et med. C. Sommer. (Bd. 512.)
Weltanschauung. Griechische. Von Prof. Dr. M. Wundt. 2. Aufl. (Bd. 529.)
Weltanschauungen, D., d. groß. Philosophen der Neuzeit. Von Prof. Dr. B. Busse. 6. Aufl., hrsg. v. Geh. Hofrat Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)
Weltentstehung. Entsteh. d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissenschaft. Von Prof. Dr. M. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
Weltuntergang. Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)
Willensfreiheit. Das Problem der W. Von Prof. Dr. G. F. Lipps. (Bd. 3[illegible])
— f. a. Ethik, Mechan. d. Geistesleb., Psy[illegible]

II. Pädagogik und Bildungswesen.

Amerikanisches Bildungswesen siehe Techn. Hochschulen, Universitäten.
Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung in ihren gegenseitigen Beziehungen. Von W. J. Ruttmann. M. 7 Abb. (Bd. 522.)
Bildungswesen, D. deutsche, in s. geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. Paulsen. 3. Aufl. Von Prof. Dr. Münch. M. Bildn. Paulsens. (Bd. [illegible])
— s. auch Volksbildungswesen.

Erziehung. E. zur Arbeit. Von Prof. Dr. Edv. Lehmann. (Bd. 459.)
— **Deutsche E. in Haus u. Schule.** Von Rektor J. Tews. 3. Aufl. (Bd. 159.)
— siehe auch Großstadtpädagogik.
Fortbildungsschulwesen, Das deutsche. Von Dir. Dr. F. Schilling. (Bd. 256.)
Fröbel, Friedrich. Von Dr. Joh. Prüfer. Mit 1 Tafel. (Bd. 82.)
Großstadtpädagogik. V. Rektor J. Tews. (Bd. 327.)
— siehe Erzieh., Schulkämpfe d. Gegenw.
Handschriftenbeurteilung, Die. Eine Einführ. in die Psychol. der Handschrift. V. Prof. Dr. G. Schneidemühl. Mit 51 Handschriftennachbild. i. T. u. 1 Taf. 2., durchges. u. erw. Aufl. (Bd. 514.)
Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis Herbarts. (Bd. 164.)
Hilfsschulwesen, Vom. Von Rektor Dr. W. Maennel. (Bd. 73.)
Hochschulen s. Techn. Hochschulen u. Univ.
Jugendpflege. Von Fortbildungsschullehrer W. Wiemann. (Bd. 434.)
Leibesübungen siehe Abt. V.
Mädchenschule, D. höhere, in Deutschland. V. Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)
Mittelschule s. Volks- u. Mittelschule.
Pädagogik, Allgemeine. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 4. Aufl. (Bd. 33.)
— **Experimentelle P. mit bes.** Rücksicht auf die Erzieh. durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. 3., verb. Aufl. Mit 6 Textabbildungen. (Bd. 224.)
— s. Erzieh., Großstadtpäd., Handschriftenbeurteilung. Psychol., Veranlag. u. Vererb. Abt. I.
Pestalozzi. Leben und Ideen. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. P. Natorp. 3. Aufl. Mit Bildn. u. 1 Brieffaksimile. (Bd. 250.)
Rousseau. Von Prof. Dr. P. Hensel. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 180.)
Schule siehe Fortbildungs-, Hilfsschulwes., Techn. Hoch-, Mädch.-, Volksschule, Univ.
Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. M. 33 Fig. (Bd. 96.)
Schulkämpfe der Gegenwart. Von Rektor J. Tews. 2. Aufl. (Bd. 111.)
— siehe Erziehung, Großstadtpäd.
Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
Studententum, Geschichte des deutschen St. Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)
Techn. Hochschulen in Nordamerika. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. S. Müller. M. zahlr. Abb., Karte u. Lagepl. (190.)
Universität. über Universitäten u. Universitätsstud. V. Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit 1 Bildn. Humboldts. (Bd. 411.)
— **Die amerikanische U.** V. Prof. Ph. D. E. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)
Unterrichtswesen, Das deutsche, der Gegenwart. Von Geh. Studienrat Oberrealschuldir. Dr. K. Knabe. (Bd. 299.)
Volksbildungswesen, Das moderne. Von Stadtbibl. Dr. G. Fritz. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)
Volks- und Mittelschule, Die preußische, Entwicklung und Ziele. Von Geh. Reg.- u. Schulrat Dr. A. Sachse. (Bd. 432.)
Zeichenkunst. Der Weg zur Z. Ein Büchlein für theoretische u. praktische Selbstbildung. Von Dr. E. Weber. 2. Aufl. Mit 81 Abb. und 1 Farbtaf. (Bd. 430.)

III. Sprache, Literatur, Bildende Kunst und Musik.

Architektur siehe Baukunst und Renaissancearchitektur.
Ästhetik. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2. Aufl. (Bd. 345.)
— siehe auch Poetik u. Abt. I.
Baukunst. Deutsche B. im Mittelalter. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. I. Von d. Anf. b. z. Ausgang d. roman. Baukunst. 4. Aufl. Mit 42 Abb. i. T. u. auf 1 Doppeltafel. II. Gotik u. „Spätgotik". 4. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 8/9.)
— **Deutsche Baukunst seit d. Mittelalter** Ausg. d. 18. Jahrh. Renaissance, ock, Rokoko. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Matthaei. 2. Aufl. Mit Abb. u. n. (Bd. 326.)
— **utsche B. im 19. Jahrh.** Von Geh. -Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit bb. (Bd. 453.)
— ehe auch Renaissancearchitektur.
B siehe Haydn.
Bildende Kunst, Bau und Leben der b. K. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. 2. Aufl. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)
— siehe auch Baukunst, Griech. Kunst, Impressionismus, Kunst, Maler, Malerei, Stile.
Björnson siehe Ibsen.
Buch. Wie ein Buch entsteht siehe Abt. VI.
— s. auch Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.
Dekorative Kunst des Altertums, Die. Von Dr. Fr. Poulsen. Mit 112 Abb. (Bd. 454.)
Deutsch siehe Baukunst, Drama, Frauendichtung, Heldensage, Kunst, Literatur, Lyrik, Maler, Malerei, Personennamen, Romantik, Sprache, Volkslied, Volkssage.
Drama, Das. Von Dr. W. Buiske. Mit 3 Abb. 3 Bde. I: Von d. Antike z. franz. Klassizismus. 2. Aufl., neubearb. von Oberl. Dr. Nieblich, Prof. Dr. R. Immelmann u. Prof. Dr. Glaser. II: Von Versailles bis Weimar. III: Von der Romantik zur Gegenwart. (Bd. 287/289.)

Drama, D. dtsche. D. d. 19. Jahrh. J. s. Entwickl. dgest. v. Prof. Dr. G. Witkowski. 4. Aufl. M. Bildn. Hebbels. (Bd. 51.)
— siehe auch Grillparzer, Hauptmann, Hebbel, Ibsen, Lessing, Literatur, Schiller, Shakespeare, Theater.
Dürer, Albrecht. V. Prof. Dr. R. Wustmann. 2. Aufl. von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. A. Matthaei. Mit Titelb. u. zahlr. Abbildungen. (Bd. 97.)
Französisch siehe Roman.
Frauendichtung. Geschichte der deutschen F. seit 1800. Von Dr. H. Spiero. Mit 3 Bildnissen auf 1 Tafel. (Bd. 390.)
Fremdwortkunde. Von Dr. Elise Richter. (Bd. 570.)
Gartenkunst siehe Abt. VI.
Griech. Komödie, Die. V. Geh.-Rat. Prof. Dr. A. Körte. M. Titelb. u. 2 Taf. (400.)
Griechische Kunst. Die Blütezeit der g. K. im Spiegel der Reliefsarkophage. Eine Einf. i. d. griech. Plastik. V. Prof. Dr. H. Wachtler. 2. A. M. zahlr. Abb. (272.)
— siehe auch Dekorative Kunst.
Griechische Tragödie, Die. Von Prof. Dr. J. Geffcken. Mit 5 Abb. i. Text u. auf 1 Tafel. (Bd. 564.)
Grillparzer, Franz. Der Mann u. d. Werk. V. Prof. Dr. A. Kleinberg. M. Bildn. (Bd. 513.)
Gudrun siehe Nibelungenlied.
Harmonielehre. Von Dr. H. Scholz. (Bd. 560.)
Harmonium s. Tasteninstrum.
Hauptmann, Gerhart. V. Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn. 2., verb. u. verm. Aufl. (Bd. 283.)
Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. C. Krebs. 2. Aufl. M. 4 Bildn. (92.)
Hebbel, Friedrich. Von Geh. Hofrat Prof. Dr. O. Walzel. M. 1 Bildn. 2. Aufl. (Bd. 408.)
Heldensage, Die germanische. Von Dr. F. W. Bruinier. (Bd. 486.)
— siehe auch Volkssage.
Homerische Dichtung, Die. Von Rektor Dr. G. Finsler. (Bd. 496.)
Ibsen, Björnson u. i. Zeitgenossen. Von Prof. Dr. B. Kahle. 2. Aufl. v. Dr. G. Morgenstern. M. 7 Bildn. (Bd. 193.)
Impressionismus. Die Maler des J. Von Prof. Dr. B. Lázár. Mit 32 Abb. u. 1 farb. Tafel (Bd. 395.)
Instrumente s. Tasteninstrum., Orchester.
Klavier siehe Tasteninstrumente.
Komödie siehe Griech. Komödie.
Kunst. Das Wesen der deutschen bildenden K. Von Geh. Rat Prof. Dr. H. Thode. (Bd. 585.)
— **Deutsche K.** im tägl. Leben bis zum Schlusse d. 18. Jahrh. V. Prof. Dr. B. Haendcke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)
— s. a. Bauk., Bild., Dekor., Griech. K.; Pompeji, Stile; Gartenk. Abt. VI.
Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superint. R. Bürkner. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)
Lessing. Von Dr. Ch. Schrempf. Mit einem Bildnis. (Bd. 403.)
Literatur. Entwickl. der deutsch. L. seit Goethes Tod. V. Dr. W. Brecht. (595.)
Lyrik. Geschichte d. deutsch. L. s. Claudius. V. Dr. H. Spiero. 2. Aufl. (Bd. 254.)
— siehe auch Frauendichtung, Literatur, Minnesang, Volkslied.
Maler, Die altdeutschen, in Süddeutschland. Von H. Nemitz. Mit 1 Abb. i. Text und Bilderanhang. (Bd. 464.)
— s. a. Michelangelo, Impression.
Malerei, Die deutsche, im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. R. Hamann. 2 Bände Text, 2 Bände mit 57 ganzseitigen und 200 halbseitigen Abb., auch in 1 Halbpergamentbd. zu M. 7.—. (Bd. 448—451.)
— **Niederländische M. im 17. Jahrh.** Von Prof. Dr. H. Jantzen. Mit 37 Abb. — siehe auch Rembrandt. [(Bd. 373.)
Märchen s. Volksmärchen.
Michelangelo. Eine Einführung in das Verständnis seiner Werke. V. Prof. Dr. E. Hildebrandt. Mit 44 Abb. (392.)
Minnesang. Die Liebe im Liede des deutschen Mittelalters. Von Dr. J. W. Bruinier. (Bd. 404.)
Mozart siehe Haydn.
Musik. Die Grundlagen d. Tonkunst. Versuch einer entwicklungsgesch. Darstell. d. allg. Musiklehre. Von Prof. Dr. H. Rietsch. 2. Aufl. (Bd. 178.)
— **Musikalische Kompositionsformen.** V. S. G. Kallenberg. Band I: Die elementar. Tonverbindungen als Grundlage d. Harmonielehre. Bd. II: Kontrapunktik u. Formenlehre. (Bd. 412, 413.)
— **Geschichte der Musik.** Von Dr. A. Einstein. (Bd. 438.)
— **Beispielsammlung zur älteren Musikgeschichte.** V. Dr. A. Einstein. (439.)
— **Musikal. Romantik. Die Blütezeit d. m. R. in Deutschland.** Von Dr. E. Istel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)
— s. a. Haydn, Mozart, Beethoven, Oper, Orchester, Tasteninstrumente, Wagner.
Mythologie, Germanische. Von Prof. Dr. J. v. Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)
— siehe auch Volkssage, Deutsche.
Nibelungenlied, Das, u. d. Gudrun. Von Prof. Dr. J. Körner. (Bd. 591.)
Niederländische Malerei s. Malerei.
Novelle siehe Roman.
Oper, Die moderne. Vom Tode Wagners bis zum Weltkrieg (1883—1914). Von Dr. E. Istel. Mit 3 Bildn. (Bd. 495.)
— siehe auch Haydn, Wagner.
Orchester. D. Instrumente d. O. of. Dr. Fr. Volbach. M. 60 Abb. (Bd. 4.)
— **Das moderne Orchester in seiner** nt-**wicklung.** V. Prof. Dr. Fr. Volb M. Partiturbeisp. u. Taf. 2. Aufl 8.)
Orgel siehe Tasteninstrumente.
Personennamen, D. deutsch. V. tu-dienrat A. Bähnisch. 2. A. 6.)

Perspektive, Grundzüge der P. nebst Anwendungen. Von Prof. Dr. K. Doehlemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (510.)
Phonetik. Einführ. in d. Ph. Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. Mit 20 Abb. (Bd. 354.)
Photographie, Die künstlerische. Ihre Entwicklg., ihre Probl., ihre Bedeutg. V. Dr. W. Warstat. M. 1 Bilderanh. (Bd. 410.)
— s. auch Photographie Abt. VI.
Plastik s. Griech. Kunst, Michelangelo.
Poetik. Von Dr. R. Müller-Freienfels. (Bd. 460.)
Pompeji. Eine hellenist. Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 3. Aufl. M. 62 Abb. i. T. u. auf 1 Taf., sowie 1 Plan. (Bd. 114.)
Projektionslehre. In kurzer leichtfaßlicher Darstellung f. Selbstunterr. und Schulgebrauch. V. Zeichenl. A. Schudeisky. Mit 208 Fig. (Bd. 564.)
Rembrandt. Von Prof. Dr. W. Schuring. 2. Aufl. Mit 48 Abb. auf 28 Taf. i. Anh. (Bd. 158.)
Renaissancearchitektur in Italien. Von Dr. P. Frankl. 2 Bde. I. M. 12 Taf. u. 27 Textabb. II. M. Abb. (Bd. 381/382.)
Rhetorik. Von Lektor Prof. Dr. E. Geißler. 2. Bde. 2. Aufl. I. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. II. Deutsche Redekunst. (Bd. 455/456.)
Roman. Der französische Roman und die Novelle. Ihre Geschichte v. d. Anf. b. z. Gegenw. Von O. Flake. (Bd. 377.)
Romantik, Deutsche. V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. F. Walzel. 4. Aufl. I. Die Weltanschauung. II. Die Dichtung. (Bd. 232/233.)
Sage siehe Heldensage, Mythol., Volkssage.
Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit 1 Bildn. 3. Aufl. (Bd. 74.)
Schillers Dramen. Von Progymnasialdirektor E. Heusermann. (Bd. 493.)
Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. M. 3 Abb. 2. Aufl. (185.)
Sprache, Die Haupttypen des menschlich. Sprachbaus. Von Prof. Dr. F. N. Finck. 2. Aufl. v. Prof. Dr. E. Kiekers. (268.)
— **Die deutsche Sprache von heute.** Von Dr. W. Fischer. (Bd. 475.)
— **Fremdwortkunde.** Von Dr. Elise Richter. (Bd. 570.)
— siehe auch Phonetik, Rhetorik; ebenso Sprache u. Stimme Abt. V.
Sprachstämme, Die, des Erdkreises. Von Prof. Dr. F. N. Finck. 2. Aufl. (Bd. 267.)
Sprachwissenschaft. Von Prof. Dr. Kr. Sandfeld-Jensen. (Bd. 472.)
Stile, Die Entwicklungsgesch. d. St. in der bild. Kunst. Von Dozent Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. 2. Aufl. I.: V. Altertum bis zur Gotik. M. 66 Abb. II.: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 42 Abb. (Bd. 317/318.)
Tasteninstrumente. Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. V. Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)
Theater, Das. Schauspielhaus u. -kunst v. griech. Altert. bis auf d. Gegenw. V. Prof. Dr. Chr. Gaehde. 2. A. 18 Abb. (Bd. 230.)
Tragödie s. Griech. Tragödie.
Urheberrecht siehe Abt. VI.
Volkslied, Das deutsche. Über Wesen und Werden d. deutschen Volksgesanges. Von Dr. J. W. Bruinier. 5. Aufl. (Bd. 7.)
Volksmärchen, Das deutsche. V. Pfarrer K. Spieß. (Bd. 587.)
Volkssage, Die deutsche. Übersichtl. dargest. v. Dr. O. Böckel. 2. Aufl. (Bd. 262.)
— siehe auch Heldensage, Mythologie.
Wagner. Das Kunstwerk Richard W.s. Von Dr. E. Istel. M. 1 Bildn. 2. Aufl. (330.)
— siehe auch Musikal. Romantik u. Oper.
Zeichenkunst. Der Weg z. Z. Ein Büchlein für theoretische und praktische Selbstbildung. Von Dr. E. Weber. 2. Aufl. Mit 81 Abb. u. 1 Farbtafel. (Bd. 430.)
— s. auch Perspektive, Projektionslehre; Geometr. Zeichnen Abt. V.
Zeitungswesen. V. Dr. H. Diez. (Bd. 328.)

IV. Geschichte, Kulturgeschichte und Geographie.

Alpen, Die. Von H. Reisbauer. 2., neub. Aufl. von Dr. H. Slanar. Mit 26 Abb. und 2 Karten. (Bd. 276.)
Altertum, Das, im Leben der Gegenwart. V. Prov.-Schul- u. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. B. Cauer. 2. Aufl. (Bd. 356.)
Amerika. Gesch. d. Verein. Staaten v. A. V. Dr. E. Daenell. 2. A. (Bd. 147.)
...kaner, Die. V. R. M. Butler. Dtsch. Dr. W. Taszowski. (Bd. 319.)
...echnische Hochschulen. Univers. ...s Abt. II.
Wirtschaftsgeschichte. V. Priv.-Doz. O. Neurath. 2. Aufl. (Bd. 258.)
...s Leben nach den ägyptischen Papyri. Geh. Postrat Prof. Dr. Fr. Preis... Mit 1 Tafel. (Bd. 565.)
Arbeiterbewegung s. Soziale Bewegungen.
Australien und Neuseeland. Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schachner. Mit 23 Abb. (Bd. 366.)
Babylonische Kultur, Die, i. Verbreit. u. i. Nachwirkungen auf d. Gegenw. V. Prof. Dr. F. C. Lehmann-Haupt. (Bd. 579.)
Baltische Provinzen. V. Dr. V. Tornius. 3. Aufl. M. 8 Abb. u. 2 Kartenskz. (Bd. 542.)
Bauernhaus. Kulturgeschichte des deutschen. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Rauch. 2. Aufl. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)
Bauernstand. Gesch. d. dtsch. V. V. Prof. Dr. H. Gerdes. 2., verb. Aufl. Mit 22 Abb. i. Text (Bd. 320.)
Belgien. Von Dr. W. Oßwald. 3. Aufl. Mit 5 Karten. (Bd. 501.)

Bismarck und seine Zeit. Von Professor Dr. B. Valentin. Mit einem Titelbild. 4., durchges. Aufl. (Bd. 500.)
Böhmen. Von Prof. Dr. R. F. Kaindl. (Bd. 701.)
Brandenburg.-preuß. Gesch. Von Kgl. Archivar Dr. Fr. Israel. 2 Bde. I. B. d. ersten Anfängen b. z. Tode König Fr. Wilhelms I. 1740. II. Von dem Regierungsantritt Friedrichs d. Gr. bis zur Gegenwart. Bd. 440/441.)
Bulgarien. V. Priv.-Doz. Dr. H. Grothe. (Bd. 597.)
Bürger im Mittelalter s. Städte.
Byzant. Charakterköpfe. Von Dr. phil. K. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)
Calvin, Johann. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. 2 Aufl. (Bd. 247.)
Christentum u. Weltgeschichte seit der Reformation. Von Prof. D. Dr. K. Sell. 2 Bde. (Bd. 297/298.)
Deutsch siehe Bauernhaus, Bauernstand, Dorf, Feste, Frauenleben, Geschichte, Handel, Handwerk, Reich, Staat, Städte, Verfassung, Verfassungsgr., Volksstämme, Volkstrachten, Wirtschaftsleben usw.
Deutschtum im Ausland, Das, vor dem Weltkriege. Von Prof. Dr. R. Hoeniger. 2. Aufl. (Bd. 402.)
Dorf, Das deutsche. V. Prof. R. Mielke. 2. Aufl. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)
Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. M. 24 Abbildungen. (Bd. 302.)
Entdeckungen, Das Zeitalter der E. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltkarte. (Bd. 26.)
Erde siehe Mensch u. E.
Erdkunde, Allgemeine. 8 Bde. Mit Abb. I. Die Erde, ihre Bewegungen u. ihre Eigenschaften (math. Geographie u. Geonomie). Von Admiralitätsrat Prof. Dr. E. Kohlschütter. (Bd. 625.) II. Die Atmosphäre der Erde (Klimatologie, Meteorologie). Von Prof. O. Baschin. (Bd. 626.) III. Geomorphologie. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 627.) IV. Physiogeographie des Süßwassers. Von Prof. F. Machatschek. (Bd. 628.) V. Die Meere. Von Prof. Dr. A. Merz. (Bd. 629.) VI. Die Verbreitung der Pflanzen. Von Dr. Brockmann-Jerosch. (Bd. 630.) VII. Die Verbreitg. d. Tiere. V Dr. W. Knopfli. (Bd. 631.) VIII. Die Verbreitg. d. Menschen auf d. Erdoberfläche (Anthropogeographie). V. Prof. Dr. N. Krebs. (Bd. 632.)
Europa. Vorgeschichte E.'s. Von Prof. Dr. H. Schmidt. (Bd. 571/572.)
Familienforschung. Von Dr. E. Devrient. M. Abb. u. Taf. 2. Aufl. (350.)
Feldherren, Große. Von Major F. T. Endres. (Bd. 687/688.)
Feste, Deutsche, u. Volksbräuche. V. Priv.-Doz. Dr. E. Fehrle. M. 30 Abb. (Bd. 518.)
Finnland. Von Lektor F. Öhquist. (700.)
Französische Geschichte. I.: Das französische Königstum. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 574.)
— siehe auch Napoleon, Revolution.
Frauenbewegung, Die moderne. Ein geschichtlicher Überblick Von Dr. K. Schirmacher. 2. Aufl (Bd. 67.)
Frauenleben, Deutsch., i. Wandel d. Jahrhunderte. Von Geh. Schulrat Dr. Ed. Otto. 3. Aufl. 12 Abb. i. T. (Bd. 45.)
Friedrich d. Gr. V. Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. A. M. 2 Bildn. (Bd. 246.)
Gartenkunst. Gesch. d. G. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Ranck. M. 41 Abb. (274.)
Geographie der Vorwelt (Paläogeographie). Von Priv.-Doz. Dr. E. Dacqué. Mit 21 Abb. (Bd. 619.)
Geologie siehe Abt. V.
German. Heldensage s. Heldensage.
Germanische Kultur in der Urzeit. Von Bibliotheksdir. Prof. Dr. G. Steinhausen. 3. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)
Geschichte. Deutsche, im 19. Jahrh. b. z. Reichseinheit. V. Prof. Dr. R. Schwemer. 3 Bde. I.: Von 1800—1848. Restauration und Revolution. 3. Aufl. (Bd. 37.) II.: Von 1848—1862. Die Reaktion und die neue Ära. 2. Aufl. (Bd. 101.) III.: Von 1862—1871. V. Bund z. Reich. 2. Aufl. (Bd. 102.)
Griechentum. Das G. in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Prof. Dr. R. v. Scala. Mit 46 Abb. (Bd. 471.)
Griechische Städte. Kulturbilder aus gr. St. Von Professor Dr. E. Ziebarth. 2. A. M. 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)
Handel. Geschichte d. Welthandels. Von Realgymnasial-Dir. Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)
— **Geschichte des deutschen Handels seit d. Ausgang des Mittelalters.** Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)
Handwerk. Das deutsche, in seiner kulturgeschichtl. Entwickl. Von Geh. Schulrat Dr. E. Otto. 4. Aufl. Mit 33 Abb. auf 12 Tafeln. (Bd. 14.)
— siehe auch Dekorative Kunst Abt. III.
Haus. Kunstpflege in Haus u. Heimat. V. Superint. R. Bürkner. 3. Aufl. Mit Abb. (Bd. 77.)
— siehe auch Bauernhaus, Dorf.
Heldensage, Die germanische. Von Dr. J. W. Bruinier. (Bd. 486.)
Hellenist.-röm. Religionsgeschichte s. Abt. I.
Japaner, Die, i. d. Weltwirtschaft. V. Prof. Dr. K. Rathgen. 2. Aufl. (Bd.
Jesuiten, Die. Eine hist. Skizze. Von P. Dr. H. Boehmer. 4. Aufl. (Bd.
Indien. Von Prof. Dr. Sten Kon (Bd. 6
Indogermanenfrage. Von Dir. Dr. Agahd. (Bd. 5
Internationale Leben, Das, der Gegen Von Dr. h. c. A. H. Fried. M. 1 (Bd. 9

Island, d. Land u. d. Volk. V. Prof. Dr. V. Herrmann. M. 9 Abb. (Bd 461.)
Kaisertum und Papsttum. Von Prof. Dr. A. Hofmeister. (Bd. 576.)
Kartenkunde. Vermessungs- u. K. 6 Bde. Mit Abb. I. Geogr. Ortsbestimmung. Von Prof. Schmauder. (Bd. 606.) II. Erdmessung. Von Prof. Dr. O. Eggert. (Bd. 607.) III. Landmessung. Von Steuerrat Suckow. (Bd. 608.) IV. Ausgleichungsrechnung. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Hegemann. (Bd. 609.) V. Photogrammetrie und Stereophotogrammetrie. Von Diplom-Ing H. Lüscher. (Bd. 610.) VI. Kartenkunde. Von Finanzrat Dr.-Ing. A. Egerer. 1. Einführ. i. d. Kartenverständnis. 2. Kartenherstellung (Landesaufn.). (Bd. 611/612.)
Kirche s. Staat u. K.
Kolonialgeschichte, Allgemeine. Von Prof. Dr. F. Keutgen. 2 Bde. (Bd. 545/546.)
Kolonien, Die deutschen. (Land u. Leute.) Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 28. Abb. u. 8 Karten. (Bd. 98.)
Königstum, Französisches. Von Prof Dr. R. Schwemer (Bd 574.)
Krieg und Sieg. Eine kurze Darstellung der mod. Kriegskunst. Von Major a. D. C. F. Endres. (Bd. 519.)
— **Kulturgeschichte d. Krieges.** Von Prof. Dr. K. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. E. Bethe, Prof. Dr. B. Schmeidler, Prof. Dr. A. Doren, Prof. Dr. V. Herre. (Bd. 561.)
— **Der Dreißigjährige Krieg.** Von Dr. Fritz Endres. (Bd. 577.)
— s. auch Feldherren.
Kriegsschiffe, Unsere. Ihre Entstehung u. Verwendung. V. Geh. Mar.-Baur. a. D. E. Krieger. 2. Aufl. v. Geh. Mar.-Baur. Fr. Schürer. M. 60 Abb. (389.)
Luther, Martin L. u. d. dtsche. Reformation. Von Prof. Dr. W. Köhler. M. 1 Bildn. Luthers 2., verb. Aufl. (Bd. 515.)
— s. auch Von L. zu Bismarck.
Marx, Karl. Versuch einer Einführung. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (621.)
Mensch u. Erde. Skizzen v. den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Geh. Rat Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. Aufl.
— s. a. Eiszeit; Mensch Abt V. [(Bd. 31.)
Mittelalter. Mittelalterl. Kulturideale. V. Prof. Dr. V. Vedel. I.: Heldenleben. II: Ritterromantik. (Bd. 292, 293.)
— s. auch Städte u. Bürger i M.
Moltke. V. Kaiserl. Ottoman. Major a. D. C. Endres. Mit 1 Bildn. (Bd. 415.)
...e. Grundriß d. Münzkunde. 2. Aufl. ...e Münze nach Wesen, Gebrauch u. Be... V. Hofrat Dr. A. Luschin v. ...ngreuth. M. 53 Abb. Il. Die ...se v. Altertum b. z. Gegenw. Von ... Dr. H. Buchenau. (Bd. 91. 657.)
... a. Finanzwiss., Geldwesen Abt. VI.
...rische Kultur, Die. Von Prof. Dr. F. ...hmann-Haupt. (Bd. 581.)
Mythologie s. Abt. I.
Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Ritter-auf. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)
Nationalbewußtsein siehe Volk.
Natur u. Mensch. V. Realgymnasial-Dir. Prof. Dr. M. G. Schmidt. M. 19 Abb. (Bd. 458.)
Naturvölker, Die geistige Kultur der N. V. Prof. Dr. K. Th. Preuß. M. 9 Abb.
— s. a. Völkerkunde, allg. [(Bd. 452.)
Neugriechenland. Von Prof. Dr. A. Heisenberg. (Bd. 613.)
Neuseeland s. Australien.
Orient s. Indien, Palästina, Türkei.
Österreich. Os innere Geschichte von 1848 bis 1895. V. R. Charmatz. 3., veränd. Aufl. I. Die Vorherrschaft der Deutschen. II. Der Kampf der Nationen. (651/652.)
— **Geschichte der auswärtigen Politik Os im 19. Jahrhundert.** V. R. Charmatz. 2., veränd. Aufl. I. Bis zum Sturze Metternichs. II. 1848—1895. (653/654.)
— **Österreichs innere u. äußere Politik von 1895—1914.** V. R. Charmatz. (655.)
Ostmark s. Abt. VI.
Ostseegebiet, Das. V. Prof. Dr. G. Braun. M. 21 Abb. u. 1 mehrf. Karte. (Bd. 367.)
— s. auch Baltische Provinzen, Finnland.
Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. H. Frh. von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Anf. (Bd. 6.)
— **V. u. s. Kultur in 5 Jahrtausenden.** Nach d. neuest. Ausgrab. u. Forschungen dargest. von Prof. Dr. V. Thomsen. 2., neubearb. Aufl. Mit 37 Abb. (260.)
Papsttum s. Kaisertum.
Papyri s. Antikes Leben.
Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- u. Südpol v. d. ältest. Zeiten bis zur Gegenw. V. Prof. Dr. K. Hassert. 3. Aufl. M. 6 Kart. (Bd. 38.)
Polen. Mit einem geschichtl. Überblick üb. d. polnisch-ruthen. Frage. V. Prof. Dr. R. F. Kaindl. 2., verb. Aufl. M. 6 Kart. (547.)
Politik. V. Dr. A. Grabowsky. (Bd. 537.)
— **Umrisse der Weltpolitik.** V. Prof. Dr. J. Hashagen. 3 Bde. I: 1871 bis 1907. 2. Aufl. II: 1908—1914. 2. Aufl. III. D. polit. Ereign. währ. d. Krieges. (Bd. 553/555.)
— **Politische Geographie.** Von Prof. Dr. E. Schöne. Mit 7 Kart. (Bd. 353.)
— **Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrhundert.** Von Prof. Dr. K. Th. v. Heigel. 4. Aufl. von Dr. Fr. Endres. (Bd. 129.)
Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 3. Aufl. Mit 62 Abb. i. T. u. auf 1 Taf., sowie 1 Plan. (Bd. 114.)
Preußische Geschichte s. Brandenb.-pr. G.
Reaktion und neue Ära s. Gesch., deutsche.
Reformation s. Calvin, Luther.
Reich. Das Deutsche R. von 1871 b. z. Weltkrieg. V. Archivar Dr. F. Israel. (576.)
Religion s. Abt. I.

Restauration und Revolution siehe Geschichte, deutsche.
Revolution, Geschichte der Französ. R. V. Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 8 Bildn. (Bd. 346.)
— **1848.** 6 Vorträge. Von Prof. Dr. O. Weber. 3. Aufl. (Bd. 53.)
Rom. Das alte Rom. Von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. O. Richter. Mit Bilderanhang u. 4 Plänen. (Bd. 386.)
— **Soziale Kämpfe i. alt. Rom.** V. Privatdozent Dr. S. Bloch. 3. Aufl. (Bd. 22.)
— **Roms Kampf um die Weltherrschaft.** V. Prof. Dr. J. Kromayer. (Bd. 368.)
Römer. Geschichte der R. Von Prof. Dr. R. v. Scala. (Bd. 578.)
— siehe auch Hellenist.-röm. Religionsgeschichte Abt. I: Pompeji Abt. II.
Rußland. Geschichte, Staat, Kultur. Von Dr. A. Luther. (Bd. 563.)
Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 4.)
— s. a. Buch. Wie ein B. entsteht. Abt. VI.
Schweiz. Die. Land, Volk, Staat u. Wirtschaft. Von Reg.- u. Ständerat Prof. Dr. O. Wettstein. Mit 1 Karte. (Bd. 482.)
Seekrieg s. Kriegsschiff.
Sitten und Gebräuche in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. E. Samter. (682.)
Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 5. Aufl. (Bd. 2.)
— s. a. Marx, Rom; Sozialism. Abt. VI.
Staat, St. u. Kirche in ihr. gegens. Verhältnis seit d. Reformation. V. Pfarrer Dr. phil. A. Pfannkuche. (Bd. 485.)
Städte, Die. Geogr. betrachtet. V. Prof. Dr. K. Hassert. M. 21 Abb. (Bd. 163.)
— **Dtsche. Städte u. Bürger i. Mittelalter.** V. Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)
— **Verfassung u. Verwaltung d. deutschen Städte.** V. Dr. M. Schmid. (Bd. 466.)
— **Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland.** V. Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. M. 59 Abb. (Bd. 117.)
— s. a. Griech. Städte, Pompeji, Rom.
Sternglaube und Sterndeutung. Die Geschichte u. d. Wesen d. Astrologie. Unt. Mitwirk. v. Geh. Rat Prof. Dr. C. Bezold dargest. v. Geh. Hofr. Prof. Dr. Fr. Boll. M. 1 Sternk. u. 20 Abb. (Bd. 638.)
Student, Der Leipziger, von 1409 bis 1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)
Studententum. Geschichte d. deutschen St. Von Dr. W. Bruchmüller. (Bd. 477.)
Türkei, Die. V. Reg.-Rat P. R. Krause. Mit 2 Karten i. Text und auf 1 Tafel. 2. Aufl. (Bd. 469.)
Ungarn siehe Österreich.
Urzeit s. german. Kultur in der U.
Verfassung. Grundzüge der V. des Deutschen Reiches. Von Geheimrat Prof. Dr. E. Löning. 4. Aufl. (Bd. 34.)
Verfassungsrecht. Deutsches, in geschichtlicher Entwicklung. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. 2. Aufl. (Bd. 80.)
Vermessungs- u. Kartenkunde s. Kartenk.
Volk. Vom deutschen V. zum dt. Staat. Eine Gesch. d. dt. Nationalbewußtseins. V. Prof. Dr. P. Joachimsen. (Bd. 511.)
Völkerkunde, Allgemeine. I: Feuer, Nahrungserwerb, Wohnung, Schmuck und Kleidung. Von Dr. A. Heilborn. M. 54 Abb. (Bd. 487.) II: Waffen u. Werkzeuge, Industrie, Handel u. Geld, Verkehrsmittel. Von Dr. A. Heilborn. M. 51 Abb. (Bd. 488.) III: Die geistige Kultur der Naturvölker. Von Prof. Dr. K. Th. Preuß. M. 9 Abb. (Bd. 452.)
Volksbräuche, deutsche, siehe Feste.
Volksstämme, Die deutschen, und Landschaften. Von Prof. Dr. O. Weise. 5., völlig umgearb. Aufl. Mit 30 Abb. i. Text u. auf 20 Taf. u. einer Dialektkarte Deutschlands. (Bd. 16.)
Volkstrachten, Deutsche. Von Pfarrer K. Spieß. Mit 11 Abb. (Bd. 342.)
Vom Bund zum Reich siehe Geschichte.
Von Jena bis zum Wiener Kongreß. Von Prof. Dr. G. Roloff. (Bd. 465.)
Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbild. a. deutscher Gesch. V. Prof. Dr. O. Weber. 2 Bde. 2. Aufl. (Bd. 123/124.)
Vorgeschichte Europas. Von Prof. Dr. H. Schmidt. (Bd. 571/572.)
Weltgeschichte s. Christentum.
Welthandel s. Handel.
Weltpolitik s. Politik.
Wirtschaftsgeschichte, Antike. V. Priv.-Doz. Dr. O. Neurath. 2., umgearb. A. (258.)
— s. a. Antikes Leben u. d. ägypt. Papyri.
Wirtschaftsleben, Deutsches. Auf geogr. Grundl. gesch. V. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. V. Dr. H. Reinlein. (42.)
— s. auch Abt. VI.

V. Mathematik, Naturwissenschaften und Medizin.

Aberglaube, Der, in der Medizin u. s. Gefahr f. Gesundh. u. Leben. V. Prof. Dr. D. v. Hansemann. 2. Aufl. (Bd. 83.)
Abstammungslehre u. Darwinismus. V. Br. Dr. R. Hesse. 5. A. M. 40 Abb. (Bd. 39.)
Abstammungs- und Vererbungslehre, Experimentelle. Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 26 Abb. (Bd. 379.)
Abwehrkräfte des Körpers, Die. Einführung in die Immunitätslehre. Prof. Dr. med. H. Kämmerer. 52 Abbildungen.
Algebra siehe Arithmetik.
Ameisen, Die. Von Dr. med. H.

Anatomie d. Menschen, Die. B. Prof. Dr. K. v. Bardeleben. 6 Bde. Jeder Bd. mit zahlr. Abb. (Bd. 418/423.) I. Zelle und Gewebe, Entwicklungsgeschichte. Der ganze Körper. 3. Aufl. II. Das Skelett. 2. Aufl. III. Das Muskel- u. Gefäßsystem. 2. Aufl. IV. Die Eingeweide (Darm-, Atmungs-, Harn- und Geschlechtsorgane, Haut). 3. Aufl. V. Nervensystem und Sinnesorgane. 2. Aufl. VI. Mechanik (Statik u. Kinetik) d. menschl. Körpers (der Körper in Ruhe u. Bewegung). 2. Aufl.
— siehe auch Wirbeltiere.

Aquarium, Das. Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)

Arbeitsleistungen des Menschen, Die. Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. H. Boruttau. M. 14 Fig. (Bd. 539.)
— Berufswahl, Begabung u. Arbeitsleistung in i. gegenf. Beziehungen. Von W. J. Ruttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. P. Crantz. 2 Bände. I.: Die Rechnungsarten. Gleichungen 1. Grades mit einer u. mehreren Unbekannten. Gleichungen 2. Grades. 5. Aufl. M. 9 Fig. II.: Gleichungen, Arithmet. u. geometr. Reih. Zinieszins- u. Rentenrechn. Kompl. Zahlen. Binom. Lehrsatz. 4. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 120. 265.)

Arzneimittel und Genußmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)

Arzt, Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenw. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. 2. Aufl. (Bd. 265.)

Astronomie. Probleme d. mod. A. V. Prof. Dr. S. Oppenheim. 11 Fig. (Bd. 355.)
— **Die A. in ihrer Bedeutung für das praktische Leben.** Von Prof. Dr. A. Marcuse. Mit 26 Abb. (Bd. 378.)
— siehe auch Weltall, Weltbild, Sonne, Mond, Planeten; Sternglaube. Abt. I.

Atome. Molekule und Atome. V. Prof. Dr. G. Mie. 4. Aufl. M. Fig. (Bd. 58.)
— s. a. Weltäther.

Auge, Das, und die Brille. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. u. 1 Taf. 2. Aufl. (Bd. 372.)

Ausgleichungsrechnung siehe Kartenkunde Abt. IV.

Bakterien, Die, im Haushalt und der Natur des Menschen. Von Prof. Dr. E. Gutzeit. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (242.)
— **Die krankheiterregenden Bakterien.** Von Prof. Dr. M. Loehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)
— s. a. Abwehrkräfte, Desinfektion, Pilze, Schädlinge.

Bau u. Tätigkeit d. menschl. Körpers. Einf. in die Physiologie d. Menschen. V. Prof. Dr. H. Sachs. 4. A. M. 34 Abb. (Bd. 32.)

Begabung s. Arbeitsleistung.

Befruchtungsvorgang, Der, sein Wesen und s. Bedeutung. V. Dr. E. Teichmann. 2. Aufl. M. 9 Abb. u. 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)

Bewegungslehre s. Mechan., Aufg. a. d. M. L.

Biochemie. Einführung in die B. in elementarer Darstellung. Von Prof. Dr. M. Löb. Mit Fig. 2. Aufl. v. Prof. H. Friedenthal. (Bd. 352.)

Biologie, Allgemeine. Einführ. i. d. Hauptprobleme d. organ. Natur. V. Prof. Dr. H. Miehe. 2. Aufl. 52 Fig. (Bd. 130.)
—, **Experimentelle. Regeneration, Transplantat.** und verwandte Gebiete. Von Dr. E. Thesing. Mit 1 Tafel und 69 Textabbildungen. (Bd. 337.)
— siehe a. Abstammungslehre, Bakterien, Befruchtungsvorgang, Fortpflanzung, Lebewesen, Organismen, Schädlinge, Tiere, Urtiere.

Blumen. Unsere Bl. u. Pflanzen im Garten. Von Prof. Dr. U. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
— **Unsf. Bl. u. Pflanzen i. Zimmer.** V. Prof. Dr. U. Dammer. 65 Abb. (Bd. 359.)

Blut. Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)

Botanik. B. d. praktischen Lebens. V. Prof. Dr. P. Gisevius. M. 24 Abb. (Bd. 173.)
— siehe Blumen, Lebewesen, Pflanzen, Pilze, Schädlinge, Wald; Kolonialbotanik, Tabak Abt. VI.

Brille. Das Auge und die Br. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. Mit 84 Abb. und 1 Lichtdrucktafel. 2. Aufl. (Bd. 372.)

Chemie. Einführung in die allg. Ch. V. Studienrat Dr. B. Bavink. M. 24 Fig. (Bd. 582.)
— **Einführung in die organ. Chemie:** Natürl. u. künstl. Pflanzen- u. Tierstoffe. Von Studienrat Dr. B. Bavink. M. 6 Abb. i. Text. 2. Aufl. (Bd. 187.)
— **Einführung i. d. anorganische Chemie.** V. Studienrat Dr. B. Bavink. (598.)
— **Einführung i. d. analyt. Chemie.** V. Dr. F. Rüsberg. 2 Bde. (Bd. 524, 525.)
— **Die künstliche Herstellung von Naturstoffen.** V. Prof. Dr. C. Rüst. (Bd. 674.)
— **Ch. in Küche und Haus.** Von Dr. J. Klein. 4. Aufl. (Bd. 76.)
— siehe a. Biochemie, Elektrochemie, Luft, Photoch.; Agrikulturch., Sprengstoffe, Technik, Chem. Abt. VI.

Chirurgie, Die, unserer Zeit. Von Prof. Dr. J. Feßler. Mit 52 Abb. (Bd. 339.)

Darwinismus. Abstammungslehre und D. Von Prof. Dr. R. Hesse. 5. Aufl. Mit 40 Textabb. (Bd. 39.)

Desinfektion, Sterilisation und Konservierung. Von Reg.- u. Med.-Rat Dr. O. Solbrig. M. 20 Abb. i. T. (Bd. 401.)

Differentialrechnung unter Berücksichtig. d. prakt. Anwendung in der Technik mit zahlr. Beispielen u. Aufgaben versehen. Von Studienrat Dr. M. Lindow. 2. A. M. 45 Fig. i. Text u. 161 Aufg. (387.)
— siehe a. Integralrechnung.

Dynamik s. Mechanik, Aufg. a. d. techn. M. 2. Bd., ebenso Thermodynamik.

Eiszeit, Die, und der vorgeschichtliche Mensch. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. G. Steinmann. 2. Aufl. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)
Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. 2. Aufl. Mit Abb. (Bd. 234.)
Elektrotechnik, Grundlagen der E. Von Oberingenieur A. Rotth. 2. Aufl. Mit 74 Abb. (Bd. 391.)
Energie. D. Lehre v. d. E. V. Oberlehr. A. Stein. 2. A. M. 13 Fig. (Bd. 257.)
Entwicklungsgeschichte d. Menschen. V. Dr. A. Heilborn. M. 60 Abb. (Bd. 388.)
Erde s. Weltentstehung u. -untergang.
Ernährung und Nahrungsmittel. 3. Aufl. von Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Bunge. Mit 6 Abb. i. T. u. 2 Taf. (Bd. 19.)
Experimentalchemie s. Luft usw.
Experimentalphysik s. Physik.
Farben s. Licht u. F.: s. a. Farben Abt. VI.
Festigkeitslehre s. Statik.
Fortpflanzung. F. und Geschlechtsunterschiede d. Menschen. Eine Einführung in die Sexualbiologie. V. Prof. Dr. H. Boruttau. 2. Aufl. M. 30 Abb. (Bd. 540.)
Garten. Der Kleing. Von Redakteur Joh. Schneider. 2. Aufl. Mit Abb. (498.)
— **Der Hausgarten.** Von Gartenarchitekt W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)
— siehe auch Blumen, Pflanzen; Gartenkunst, Gartenstadtbewegung Abt. VI.
Gebiß. Das menschliche, s. Erkrankung u. Pflege. Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abbildungen. (Bd. 229.)
Geisteskrankheiten. V. Geh. Med.-Rat Oberstabsarzt Dr. G. Ilberg. 2. A. (151.)
Genußmittel siehe Arzneimittel u. Genußmittel; Tabak Abt. VI.
Geographie s. Abt. IV.
— **Math. G.** s. Astronomie u. Erdkunde Abt. IV.
Geologie, Allgemeine. Von Geheimem Bergrat Prof. Dr. Fr. Frech. 6 Bde. (Bd. 207/211 u. Bd. 61.) I.: Vulkane einst und jetzt. 3. Aufl. Mit Titelbild u. 78 Abb. II.: Gebirgsbau und Erdbeben. 3., wesentl. erw. Aufl. Mit Titelbild u. 57 Abb. III. Die Arbeit des fließenden Wassers. M. 56 Abb. 3. Aufl. IV.: Die Bodenbildung, Mittelgebirgsformen und Arbeit des Ozeans. Mit 1 Titelbild und 68 Abb. 3., wesentl. erw. Aufl. V. Steinkohle, Wüsten und Klima der Vorzeit. Mit Titelbild und 49 Abb. 2. Aufl. VI. Gletscher einst u. jetzt. M. Titelbild u. 65 Abb. 2. Aufl.
— s. a. Kohlen, Salzlagerstätt. Abt. VI.
Geometrie, Analyt. G. d. Ebene z. Selbstunterricht. Von Prof. P. Crantz. Mit 55 Fig. (Bd. 504.)
— **Geometr. Zeichnen.** Von Zeichenlehrer A. Schubeisky. (Bd. 568.)
— s. a. Mathematik, Prakt. M., Planim, Projektionsl., Stereometr., Trigonometr.
Geomorphologie s. Allgem. Erdkunde.
Geschlechtskrankheiten, Die, ihr Wesen, ihre Verbreitg., Bekämpfg. u. Verhütg. Für Gebildeten aller Stände bearb. v. Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 4. A. Mit 4 Abb. u. 1 mehrfarb. Taf. (251.)
Geschlechtsunterschiede s. Fortpflanzung.
Gesundheitslehre. Von Obermed.-Rat Prof. Dr. M. v. Gruber. 4. Aufl. Mit 26 Abbildungen. (Bd. 1.)
— **G. für Frauen.** Von Dir. Prof. Dr. K. Baisch. Mit 11 Abb. (Bd. 538.)
— s. a. Abwehrkräfte, Bakterien, Leibesüb.
Graph. Darstellung, Die. V. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. M. 100 Abb. (437.)
Haushalt siehe Bakterien, Chemie, Desinfektion, Naturwissenschaften, Physik.
Haustiere. Die Stammesgeschichte unserer H. Von Prof. Dr. C. Keller. M. Fig. 2. Aufl. (Bd. 252.)
— s. a. Kleintierzucht, Tierzüchtg. Abt. VI.
Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)
Hygiene s. Schulhygiene, Stimme.
Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
Immunitätslehre s. Abwehrkräfte d. Körp.
Infinitesimalrechnung. Einführung in die I. Von Prof. Dr. G. Kowalewski. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)
Integralrechnung mit Aufgabensammlung. V. Studienrat Dr. M. Lindow. 2. Aufl. Mit Fig. (Bd. 673.)
Kalender, Der. Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. 2. Aufl. (Bd. 69.)
Kälte, Die. Wesen, Erzeug. u. Verwert. Von Dr. H. Alt. 45 Abb. (Bd. 311.)
Kinematographie s. Abt. VI.
Konservierung siehe Desinfektion.
Korallen u. and. gesteinbild. Tiere. V. Prof. Dr. W. May. Mit 45 Abb. (Bd. 231.)
Kosmetik. Ein kurzer Abriß der ärztlichen Verschönerungskunde. Von Dr. J. Sauder. Mit 10 Abb. im Text. (Bd. 489.)
Lebewesen. Die Beziehungen der Tiere und Pflanzen zueinander. Von Prof. Dr. K. Kraepelin. 2. Aufl. M. 132 Abb. I. Der Tiere zueinander. II. Der Pflanzen zueinander u. zu d. Tier. (Bd. 426/427.)
— s. a. Biologie, Organismen, Schädlinge.
Leibesübungen, Die, und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Zander. 4. Aufl. M. 27 Abb. (Bd. 13.)
— s. auch Turnen.
Licht, Das, u. d. Farben. Einführung in die Optik. Von Prof. Dr. L. Graetz. 4. Aufl. Mit 100 Abb. (Bd. 17)
Luft, Wasser, Licht und Wärme. N Vorträge aus d. Gebiete d. Experi talchemie. V. Geh. Reg.-Rat Dr. R. Blo mann. 4. Aufl. M. 115 Abb. (Bd
Luftstickstoff, D., u. s. Verwertg. V. P Dr. K. Kaiser. 2. A. M. Abb. (Bd.
Maße und Messen. Von Dr. W. Bl Mit 34 Abb. (Bd.
Materie s. Weltäther.

Mathematik. Einführung in die Mathematik. Von Oberlehrer W. Mendelssohn. Mit 42 Fig. (Bd. 503.)
— Math. Formelsammlung. Ein Wiederholungsbuch der Elementarmathematik. Von Prof. Dr. S. Jakobi. (Bd. 567.)
— Naturwissensch. u. M. i. klass. Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Heiberg. Mit 2 Fig. (Bd. 370.)
— Praktische M. Von Prof. Dr. R. Neuendorff. I. Graphische Darstellungen. Verkürztes Rechnen. Das Rechnen mit Tabellen. Mechanische Rechenhilfsmittel. Kaufmännisches Rechnen i. tägl. Leben. Wahrscheinlichkeitsrechnung. 2., verb. A. M. 29 Fig. i. T. u. 1 Taf. II. Geom. Zeichnen. Projektionsl. Flächenmessung. Körpermessung. M. 133 Fig. (341. 526.)
— Mathemat. Spiele. V. Dr. W. Ahrens. 3. Aufl. M. Titelb. u. 77 Fig. (Bd. 170.)
— s. a. Arithmetik, Differentialrechnung, Geometrie, Infinitesimalrechnung, Integralrechnung, Perspektive, Planimetrie, Projektionslehre, Trigonometrie, Vektorrechnung, Wahrscheinlichkeitsrechnung.
Mechanik. Von Prof. Dr. Hamel. 3 Bde. I. Grundbegriffe der M. II. M. d. festen Körper. III. M. d. flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)
— Aufgaben aus d. techn. Mechanik. V. Prof. R. Schmitt. M. zahlr. Fig. f. Bewegungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lös. II. Dynamik. 140 Aufg. u. Lös. (558/559.)
— siehe auch Statik.
Meer. Das M., s. Erforsch. u. s. Leben. Von Prof. Dr. O. Janson. 3. A. M. 40 Fig. (Bd. 30.)
Mensch u. Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Prof. Dr. A. Kirchhoff. 4. A. (Bd. 31.)
— s. auch Eiszeit, Entwicklungsgeschichte, Urzeit.
— Natur u. Mensch siehe Natur.
Menschl. Körper. Bau u. Tätigkeit d. menschl. K. Einführ. i. d. Physiol. d. M. V. Prof. Dr. H. Sachs. 4. Aufl. M. 34 Abb. (32.)
— s. auch Anatomie, Arbeitsleistungen, Auge, Blut, Gebiß, Herz, Fortpflanzg., Nervensystem, Physiol., Sinne, Verbild.
Mikroskop, Das. Allgemeinverständl. dargestellt. Von Prof. Dr. W. Scheffer. Mit 99 Abb. 2. Aufl. (Bd. 35.)
Moleküle u. Atome. Von Prof. Dr. G. Mie. 4. Aufl. Mit Fig. (Bd. 58.)
— s. a. Weltäther.
Mond, Der. Von Prof. Dr. J. Franz. Mit 34 Abb. 2. Aufl. (Bd. 90.)
..ungsmittel s. Ernährung u. R.
— u. Mensch. V. Direkt. Prof. Dr. M. Schmidt. Mit 19 Abb. (Bd. 458.)
..lehre. Die Grundbegriffe der modernen R. Einführung in die Physik. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. 4. Aufl. Mit 71 Fig. (Bd. 40.)
..philosophie, Die mod. V. Privatdoz. J. M. Verweyen. 2. A. (Bd. 491.)

Naturwissenschaft. Religion und N. im Kampf u. Frieden. Ein geschichtl. Rückblick. V. Pfarrer Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)
— N. und Technik. Am sausenden Webstuhl d. Zeit. Übersicht üb. d. Wirkungen d. Naturw. u. Technik a. d. ges. Kulturleben. V. Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abb. (Bd. 23.)
— N. u. Math. i. klass. Altert. V. Prof. Dr. J. L. Heiberg. 2 Fig. (Bd. 370.)
Nerven. Vom Nervensystem, sein. Bau u. sein. Bedeutung für Leib u. Seele im ges. u. krank. Zustande. V. Prof. Dr. R. Sander. 3. Aufl. M. 27 Fig. (Bd. 48.)
— siehe auch Anatomie.
Optik. Die opt. Instrumente. Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verwandte Instr. V. Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (83.)
— s. a. Auge, Brille, Kinemat., Licht u. Farbe, Mikrosk., Spektroskopie, Strahlen.
Organismen. D. Welt d. O. In Entwickl. und Zusammenhang dargestellt. Von Oberstudienrat Prof. Dr. K. Lambert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)
— siehe auch Lebewesen.
Paläozoologie siehe Tiere der Vorwelt.
Perspektive, Die. Grundzüge d. P. nebst Anwendg. V. Prof. Dr. K. Doehlemann. Mit 91 Fig. u. 11 Abb. (Bd. 510.)
Pflanzen. Die fleischfress. Pfl. V. Prof. Dr. A. Wagner. Mit 82 Abb. (Bd. 344.)
— Unsere Blumen u. Pfl. i. Garten. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 69 Abb. (Bd. 360.)
— Unsere Blumen u. Pfl. i. Zimmer. V. Prof. Dr. U. Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
— s. auch Botanik, Garten, Lebewesen, Pilze, Schädlinge.
Pflanzenphysiologie. V. Prof. Dr. H. Molisch. Mit 63 Fig. (Bd. 569.)
Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. Mit 23 Abb. i. Text u. a. 1 Taf. 2. Aufl. (Bd. 227.)
Photographie s. Abt. VI.
Physik. Werdegang d. mod. Ph. V. Oberl. Dr. H. Keller. M. Fig. 2. Aufl. (343.)
— Experimentalphysik. Gleichgewicht u. Bewegung. Von Geh. Reg.-Rat. Prof. Dr. R. Börnstein. M. 90 Abb. (371.)
— Physik in Küche und Haus. Von Prof. H. Speitkamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)
— Große Physiker. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (324.)
— s. auch Energie, Naturlehre, Optik, Relativitätstheorie, Wärme; ebenso Elektrotechnik Abt. VI.
Physiologie. Ph. d. Menschen. V. Privatdoz. Dr. A. Lipschütz. 4 Bde. I: Allgem. Physiologie. II: Physiologie d. Stoffwechsels. III: Ph. d. Atmung, d. Kreislaufs u. d. Ausscheidung. IV: Ph. der Bewegungen und der Empfindungen. (Bd. 527—530.)
— siehe auch Arbeitsleistungen, Menschl. Körper, Pflanzenphysiologie.

Pilze, Die. Von Dr. A. Eichinger. Mit — s. a. Bakterien. [64 Abb. (Bd. 334.)
Planeten, Die. Von Prof. Dr. B. Peter. Mit Fig. 2. Aufl. von Dr. H. Naumann. (Bd. 240.)
Planimetrie z. Selbstunterricht. V. Prof. V. Crantz. M. 94 Fig. 2. Aufl. (340.)
Praktische Mathematik s. Mathematik.
Projektionslehre. In kurzer leichtfaßlicher Darstellung f. Selbstunterr. u. Schulgebr. Von Zeichenl. A. Schubeisky. Mit 208 Fig. im Text. (Bd. 564.)
Radium, Das, und die Radioaktivität V. Dr. M. Centnerszwer. M. 33 Abb. (Bd. 405.)
Rechenmaschinen, Die, und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)
Relativitätstheorie, Einführung in die. Von Dr. W. Bloch. (Bd. 618.)
Röntgenstrahlen, D. R. u. ihre Anwendg. V. Dr. med. G. Buchy. M. 85 Abb. i. T. u. auf 4 Tafeln. (Bd. 556.)
Säuglingspflege. Von Dr. E. Kobrak. 2. Aufl. Mit Abb. (Bd. 154.)
Schachspiel, Das, und seine strategischen Prinzipien. V. Dr. M. Lange. 3., veränd. Aufl. Mit 2 Bildn., 1 Schachbrettafel u. 43 Darst. v. Übungsbeispiel. (Bd. 281.)
— **Die Hauptvertreter der Schachspielkunst u. d. Eigenart ihrer Spielführung.** Von Dr. M. Lange. (Bd. 531.)
Schädlinge, Die, im Tier- u. Pflanzenreich u. i. Bekämpf. V. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. K. Eckstein. 3. A. M. 36 Fig. (18.)
Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 43 Fig. (Bd. 96.)
Serualbiologie s. Fortpflanzung, Pflanzen.
Serualethik. V. Prof. Dr. H. E. Timerding. (Bd. 592.)
Sinne d. Mensch., D. Sinnesorgane u. Sinnesempfindungen. V. Hofrat Prof. Dr. J. Kreibig. 3. Aufl. M. 30 Abb. (27.)
Sonne, Die. Von Dr. A. Krause. Mit 64 Abb. (Bd. 357.)
Spektroskopie. Von Dr. L. Grebe. 2. Aufl. Mit Abbild. (Bd. 284.)
Spiel siehe Mathem. Spiele, Schachspiel.
Sprache, Entwicklung der Spr. und Heilung ihrer Gebrechen bei Normalen, Schwachsinnigen und Schwerhörigen. V. Lehrer K. Nickel. (Bd. 586.)
— siehe auch Rhetorik, Sprache Abt. III.
Statik. Mit Einschluß der Festigkeitslehre. V. Baugewerkschuldirektor Reg.-Baum. A. Schau. Mit 149 Fig. i. T. (Bd. 497.)
— siehe auch Mechanik.
Sterilisation siehe Desinfektion.
Stickstoff s. Luftstickstoff.
Stimme, Die menschliche St. und ihre Hygiene. Von Prof. Dr. W. H. Gerber. 3., veränd. Aufl. Mit 20 Abb. (Bd. 136.)
Strahlen, Sichtbare u. unsichtb. V. Prof. Dr. R. Börnstein und Prof. Dr. W. Marckwald. 3. Aufl. von Prof. Dr. E. Regener. Mit Abb. (Bd. 64.)
Suggestion, Hypnotismus und Suggestion. V. Dr. E. Trömner. 2. Aufl. (Bd. 199.)
Süßwasser-Plankton, Das. V. Prof. Dr. O. Zacharias. 2. A. 57 Abb. (Bd. 156.)
Thermodynamik s. Abt. VI.
Tiere, T. der Vorwelt. Von Prof. Dr. O. Abel. Mit 31 Abb. (Bd. 399.)
— **Die Fortpflanzung der T.** V. Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)
— **Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie.** Von Privatdozent Dr. K. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)
— **Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere.** Von Prof. Dr. O. Maas. Mit 11 Karten und Abb. (Bd. 139.)
— **Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus).** Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)
— s. auch Aquarium, Bakterien, Haustiere, Korallen, Lebewesen, Schädlinge, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Wirbeltiere.
Tierzucht siehe Abt. VI: Kleintierzucht, Tierzüchtung.
Trigonometrie, Ebene, z. Selbstunterr. V. Prof. V. Crantz. 2. Aufl. M. 50 Fig. (Bd. 431.)
— **Sphärische Tr.** Von Prof. V. Crantz. (Bd. 605.)
Tuberkulose, Die, Wesen, Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl. M. 1 Taf. u. 8 Fig. (Bd. 47.)
Turnen. Von Oberl. F. Eckardt. Mit 1 Bildnis Jahns. (Bd. 583.)
— s. auch Leibesübungen, Anatomie d. Menschen Bd. VI.
Urtiere, Die. Einführung i. d. Wissenschaft vom Leben. Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. 2. A. M. 44 Abb. (Bd. 160.)
Urzeit. Der Mensch d. U. Vier Vorlesung. aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)
Vektorrechnung. Einführung in die. Von Prof. Dr. F. Jung. (Bd. 668.)
Verbildungen, Körperliche, im Kindesalter u. ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)
Vererbung. Exp. Abstammgs.- u. V.-Lehre. Von Prof. Dr. E. Lehmann. Mit 20 Abbildungen. (Bd. 379.)
— **Geistige Veranlagung u. V.** Von Dr. phil. et med. G. Sommer. (Bd. 512.)
Vogelleben, Deutsches. Zugleich als Exkursionsbuch für Vogelfreunde. V. Prof. Dr. A. Voigt. 2. Aufl. (Bd. 2
Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. E Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 2
Wahrscheinlichkeitsrechnung, Einführ. die. Von Prof. Dr. R. Supp tschitsch. (Bd. 5
Wald, Der dtsche. V. Prof. Dr. H. Ha rath. 2. Aufl. M. Bilderanh. u. 2. Ka
— siehe auch Holz Abt. VI. [(P

Wärme. Die Lehre v. d. W. B. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. R. Börnstein. Mit Abb. 2. Aufl. v. Prof. Dr. A. Wigand. (172.)
— s. a. Luft, Wärmekraftmasch., Wärmelehre, techn. Thermodynamik Abt. VI.
Wasser, Das. Von Geh. Reg.-Rat Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)
Weidwerk, D. dtsche. V. Forstmstr. G. Frhr. v. Nordenflycht. M. Titelb. (Bd. 436.)
Weltall, Der Bau des W. Von Prof. Dr. J. Scheiner. 4. A. M. 26 Fig. (Bd. 24.)
Weltäther und Materie. Von Prof. Dr. G. Mie. Mit Fig. 4. Aufl. (Bd. 59.)
— s. auch Molekule.
Weltbild. Das astronomische W. im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. 2. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 110.)
— siehe auch Astronomie.
Weltentstehung. Entstehung d. W. u. d. Erde nach Sage u. Wissensch. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. 2. Aufl. (Bd. 223.)
Weltuntergang. Untergang der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. V. Prof. Dr. M. B. Weinstein. (Bd. 470.)
Wetter. Unser W. Eine Einführ. in die Klimatologie Deutschl. an d. Hand v. Wetterkarten. 2. Aufl. V. Dr. R. Hennig. Mit Abb. (Bd. 349.)
— **Einführung in die Wetterkunde.** Von Prof. Dr. L. Weber. 3. Aufl. von „Wind und Wetter". Mit 28 Fig. u. 3 Taf. (Bd. 55.)
Wirbeltiere. Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der W. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)
Zahnheilkunde siehe Gebiß.
Zellen- und Gewebelehre siehe Anatomie des Menschen, Biologie.
Zoologie s. Abstammungsl., Aquarium, Biologie, Schädlinge, Tiere, Urtiere, Vogelleben, Vogelzug, Weidwerk, Wirbeltiere.

VI. Recht, Wirtschaft und Technik.

Agrikulturchemie. Von Dr. B. Krische. Mit 21 Abb. (Bd. 314.)
Angestellte siehe Kaufmännische A.
Antike Wirtschaftsgeschichte. V. Priv.-Doz. Dr. O. Neurath. 2., umgearb. A. (258.)
— siehe auch Antikes Leben Abt. IV.
Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. V. Geh. Hofrat Prof. Dr. O. v. Zwiedineck-Südenhorst. 2. Aufl. (78.)
Arbeitsleistungen des Menschen. Die. Einführ. in d. Arbeitsphysiologie. V. Prof. Dr. H. Boruttau. M. 14 Fig. (Bd. 539.)
— **Berufswahl, Begabung u. A. in ihren gegenseitigen Beziehungen.** Von W. J. Ruttmann. Mit 7 Abb. (Bd. 522.)
Arzneimittel und Genußmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)
Arzt. Der. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenw. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)
Automobil, Das. Eine Einf. in d. Bau d. heut. Personen-Kraftwagens. V. Ob.-Ing. K. Blau. 3., überarb. Aufl. M. 98 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 166.)
Baukunde s. Eisenbetonbau.
Baukunst siehe Abt. III.
Beleuchtungswesen. Das moderne. Von Ing. Dr. H. Lux. M. 54 Abb. (Bd. 433.)
Bergbau. Von Bergassessor F. W. Webding. (Bd. 467.)
Bewegungslehre s. Mechan., Aufg. a. d. M.
Brauerei. Von Dr. A. Bau. Mit Abb. (Bd. 333.)
...s. Buchhaltung u. B.
...ien. Ins. Bl. u. Pfl. i. Garten. Von ... Dr. N. Dammer. Mit 69 Abb. (Bd. 360.)
...ns. Bl. u. Pfl. i. Zimmer. V. Prof. ... Dammer. M. 65 Abb. (Bd. 359.)
...ehe auch Garten.
...erei s. Bierbrauerei.
Buch. Wie ein B. entsteht. V. Prof. A. W. Unger. 4. Aufl. M. 7 Taf. u. 26 Abb. im Text. (Bd. 175.)
— s. a. Schrift- u. Buchwesen Abt. IV.
Buchhaltung u. Bilanz. Kaufm., und ihre Beziehungen z. buchhalter. Organisation, Kontrolle u. Statistik. V. Dr. P. Gerstner. Mit 4 schemat. Darstell. 2. Aufl. (Bd. 507.)
Chemie in Küche und Haus. Von Dr. F. Klein. 4 Aufl. (Bd. 76.)
— s. auch Agrikulturchemie, Elektrochemie, Farben, Sprengstoffe, Technik; ferner Chemie Abt. V.
Dampfkessel siehe Feuerungsanlagen.
Dampfmaschine. Die. Von Geh Bergrat Prof. R. Vater. 2 Bde I: Wirkungsweise des Dampfes im Kessel und in der Maschine. 4 Aufl. M. 37 Abb. (Bd. 393.) II: Ihre Gestaltung und Verwendung. 2. Aufl. Mit 105 Abb. (Bd. 394.)
Desinfektion, Sterilisation und Konservierung. Von Reg.- und Med.-Rat Dr. O. Solbrig. Mit 20 Abb. (Bd. 401.)
Deutsch f. Handel, Handwerk, Landwirtschaft, Verfassung, Weidwerk, Wirtschaftsleben, Zivilprozeßrecht; Reich Abt. IV.
Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwend. in d. Elektrotechnik. V. Telegr.-Insp. H. Brick. M. 43 Abb. (Bd. 285.)
Dynamik s. Mechanik, Aufg. a. d. M. 2. Bd., ebenso Thermodynamik.
Eisenbahnwesen. Das. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. a. D. Dr.-Ing. E. Biebermann. 2. Aufl. M. 56 Abb. (144.)
Eisenbetonbau. Der. V. Dipl.-Ing. E. Hajmovici. 2. Aufl. M. Abb. u. 38 Skizzen sowie 8 Rechnungsbeisp. (Bd. 275.)
Eisenhüttenwesen. Das. Von Geh. Bergr. Prof. Dr. H. Wedding. 5. Aufl. v. Bergassessor F. W. Wedding. M. Fig. (20.)

Elektrische Kraftübertragung, Die. B. Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 424.)
Elektrochemie. Von Prof. Dr. K. Arndt. Mit 38 Abb. (Bd. 234.)
Elektrotechnik. Grundlagen d. E. V. Obering. A. Rotth. 2. Aufl. M. 74 Abb. (391.)
— s. auch Drähte u. Kabel, Telegraphie.
Erbrecht. Testamentserrichtung und E. Von Prof. Dr. F. Leonhard. (Bd. 429.)
Ernährung u. Nahrungsmittel s. Abt. V.
Farben u. Farbstoffe. J. Erzeug. u. Verwend. B. Dr. A. Hart. 31 Abb. (Bd. 483.)
— siehe auch Licht Abt. V.
Fernsprechtechnik s. Telegraphie.
Feuerungsanlagen. Industr. u. Dampfkessel. B. Ing. J. E. Mayer. 88 Abb. (Bd. 348.)
Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. S. P. Altmann. 2 Bde. 2. Aufl. I. Allg. Teil. II. Besond. Teil. (Bd. 549—550.)
— siehe auch Geldwesen.
Funkentelegraphie siehe Telegraphie.
Fürsorge siehe Kriegsbeschädigtenfürsorge, Kinderfürsorge.
Garten. Der Kleingarten. V. Hauptschriftl. Joh. Schneider. 2. Aufl. Mit Abb. (Bd. 498.)
— **Der Hausgarten.** Von Gartenarchitekt W. Schubert. Mit Abb. (Bd. 502.)
— siehe auch Blumen.
Gartenkunst. Gesch. d. G. V. Baurat Dr.-Ing. Chr. Rauch. M. 41 Abb. (Bd. 274.)
Gartenstadtbewegung, Die. Von Landeswohnungsinspektor Dr. H. Kampffmeyer. 2. Aufl. M. 43 Abb. (Bd. 259.)
Gefängniswesen s. Verbrechen.
Geldwesen, Zahlungsverkehr u. Vermögensverwalt. Von G. Maier. 2. Aufl. (398.)
— s. a. Finanzwissensch.; Münze Abt. IV.
Genußmittel siehe Arzneimittel und Genußmittel, Tabak.
Geschütze. Von Generalmajor a. D. K. Bahn. (Bd. 365.)
Gewerblicher Rechtsschutz i. Deutschland. V. Patentanw. V. Volksdorf. (Bd. 138.)
— siehe auch Urheberrecht.
Graphische Darstell., Die. V. Hofrat Prof. Dr. F. Auerbach. M. 100 Abb. (Bd. 437.)
Handel. Geschichte d. Welth. Von Realgymnasialdirektor Dr. M. G. Schmidt. 3. Aufl. (Bd. 118.)
— **Geschichte des deutschen Handels.** Seit d. Ausgang des Mittelalters. Von Dir. Prof. Dr. W. Langenbeck. 2. Aufl. Mit 16 Tabellen. (Bd. 237.)
Handfeuerwaffen, Die. Entwickl. u. Techn. V. Major R. Weiß. 69 Abb. (Bd. 364.)
Handwerk, D. deutsche, in s. kulturgeschichtl. Entwickig. V. Geh. Schulr. Dr. E. Otto. 4. Aufl. M. 33 Abb. auf 12 Taf. (Bd. 14.)
Haushalt s. Chemie, Desinfektion, Garten, Jurisprudenz, Physik; Nahrungsmittel Abt. IV; Bakterien Abt. V.
Häuserbau siehe Baukunde, Beleuchtungswesen, Heizung und Lüftung.
Hebezeuge. Hilfsmittel zum Heben fester, flüssiger und gasf. Körper. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. Aufl. M. 67 Abb. (Bd. 196.)
Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)
Holz. Das H., seine Bearbeitung u. seine Verwendg. V. Insp. J. Großmann. Mit 39 Originalabb. i. T. (Bd. 473.)
Hotelwesen, Das. Von V. Damm-Etienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)
Hüttenwesen siehe Eisenhüttenwesen.
Japaner, Die, i. d. Weltwirtschaft. V. Prof. Dr. K. Rathgen. 2. Aufl. (Bd. 72.)
Immunitätslehre s. Abwehrkräfte Abt. V.
Ingenieurtechnik. Schöpfungen d. T. der Neuzeit. Von Geh. Regierungsrat M. Geitel. Mit 32 Abb. (Bd. 28.)
Instrumente siehe Optische J.
Kabel s. Drähte und K.
Kälte, Die, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit 45 Abb. (Bd. 311.)
Kaufmann. Das Recht des K. Ein Leitfaden f. Kaufleute, Studier. u. Juristen. V. Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 409.)
Kaufmännische Angestellte. D. Recht d. k. A. Von Justizrat Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)
Kinderfürsorge. Von Prof. Dr. Chr. J. Klumker. (Bd. 620.)
Kinematographie. Von Dr. H. Lehmann. Mit Abb. 2. Aufl. von Dr. W. Mertè. (Bd. 358.)
Klein- u. Straßenbahnen, Die. V. Obering. a. D. Oberlehrer A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)
Kleintierzucht, Die. Von Hauptschriftleiter Joh. Schneider. Mit 59 Fig. i. Text u. auf 6 Tafeln. (Bd. 604.)
— siehe auch Tierzüchtung.
Kohlen, Unsere. V. Bergass. V. Kukuk. Mit 60 Abb. i. Text u. 3 Taf. (Bd. 396.)
Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Tobler Mit 21 Abb. (Bd. 184.)
Kolonisation, Innere. Von A. Brenning. (Bd. 261.)
Konservierung siehe Desinfektion.
Konsumgenossenschaft, Die. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)
— s. auch Mittelstandsbewegung, Wirtschaftliche Organisationen.
Kraftanlagen siehe Feuerungsanlagen Dampfkessel, Dampfmaschine, Wärkraftmaschine, Wasserkraftmaschine.
Kraftübertragung, Die elektrische. Ing. P. Köhn. Mit 137 Abb. (Bd. 4.
Krieg. Kulturgeschichte d. K. V. Prof. K. Weule, Geh. Hofrat Prof. Dr. Bethe, Prof. Dr. B. Schmeidl Prof. Dr. A. Doren, Prof. D. Herre. (Bd. 56

Kriegsbeschädigtenfürsorge. In Verbindung mit Med.-Rat, Oberstabsarzt u. Chefarzt Dr. Rebentisch, Gewerbeschuldir. H. Back, Direktor des Städt. Arbeitsamts Dr. P. Schlotter herausgeg. von Dr. S. Kraus, Leiter des Städt. Fürsorgeamts für Kriegshinterbliebene in Frankfurt a. M. Mit 2 Abbildungstafeln. (Bd. 523.)

Kriegsschiffe, Unsere. Ihre Entstehung und Verwendung. Von Geh. Marinebaurat a. D. E. Krieger. 2. Aufl. von Marinebaurat Fr. Schürer. Mit 62 Abbildungen. (Bd. 389.)

Kriminalistik, Moderne. Von Amtsrichter Dr. A. Hellwig. M. 18 Abb. (Bd. 476.)
— s. a. Verbrechen, Verbrecher.

Küche siehe Chemie in Küche und Haus.

Landwirtschaft, Die. B. Dr. W. Claaßen. 2. Aufl. M. 15 Abb. u. 1 Karte. (215.)
— s. auch Agrikulturchemie, Kleintierzucht, Luftstickstoff, Tierzüchtung; Haustiere, Tierkunde Abt. V.

Landwirtschaftl. Maschinenkunde. B. Prof. Dr. G. Fischer. 2. Aufl. M. Abb. (316.)

Luftfahrt, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 3. Aufl. v. Dr. Fr. Huth. M. 60 Abb. (Bd. 300.)

Luftstickstoff, Der, u. s. Verw. B. Prof. Dr. K. Kaiser. M. 13 Abb. (Bd. 313.)

Lüftung, Heizung und L. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)

Marx, Karl. Versuch einer Einführung. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt. (621.)
— s. auch Sozialismus.

Maschinen s. Hebezeuge, Dampfmaschine, Landwirtsch. Maschinenkunde, Wärmekraftmasch., Wasserkraftmasch.

Maschinenelemente. Von Geh. Bergrat Prof. R. Vater. 2. A. M. 175 Abb. (Bd. 301.)

Maße und Messen. Von Dr. W. Block. Mit 34 Abb. (Bd. 385.)

Mechanik. B. Prof. Dr. G. Hamel. 3 Bde. I. Grundbegriffe d. M. II. M. der festen Körper. III. M. d. flüss. u. luftförm. Körper. (Bd. 684/686.)
— **Aufgaben aus der technischen M.** f. d. Schul- u. Selbstunterr. B. Prof. R. Schmitt. M. zahlr. Fig. I. Bewegungsl., Statik. 156 Aufg. u. Lösungen. II. Dynam. 140 A. u. Lös. (Bd. 558/559.)

Messen siehe Maße und Messen.

Metalle, Die. Von Prof. Dr. K. Scheid. 3. Aufl. Mit 11 Abb. (Bd. 29.)

Miete, Die, nach d. BGB. Ein Handbüchlein f. Juristen, Mieter u. Vermieter. B. Justizrat Dr. M. Strauß. (194.)

Mikroskop, Das. Gemeinverständlich dargestellt von Prof. Dr. W. Scheffer. 2. Aufl. Mit 99 Abb. (Bd. 35.)

Milch, Die, und ihre Produkte. Von Dr. A. Reitz. Mit 16 Abb. (Bd. 362.)

Mittelstandsbewegung, Die moderne. Von Dr. L. Müffelmann. (Bd. 417.)
— siehe Konsumgenoss., Wirtschaftl. Org.

Nahrungsmittel s. Abt. V.

Naturwissensch. u. Technik, Am sauf. Webstuhl d. Zeit. Übers. üb. d. Wirkgen. d. Entw. d. N. u. T. a. d. ges. Kulturleb. B. Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl. Mit 3 Abb. (Bd. 23.)

Nautik. Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Abb. (Bd. 255.)

Optischen Instrumente, Die. Lupe, Mikroskop, Fernrohr, photogr. Objektiv u. ihnen verw. Instr. Von Prof. Dr. M. v. Rohr. 3. Aufl. M. 89 Abb. (Bd. 88.)

Organisationen, Die wirtschaftlichen. Von Prof. Dr. E. Lederer. (Bd. 428.)

Ostmark, Die. Eine Einführ. i. d. Probleme ihrer Wirtschaftsgesch. Hrsg. von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

Patente u. Patentrecht s. Gewerbl. Rechtsschutz.

Perpetuum mobile, Das. B. Dr. Fr. Ichak. Mit 38 Abb. (Bd. 462.)

Photochemie. Von Prof. Dr. G. Kümmell. 2. Aufl. Mit 23 Abb. i. Text u. auf 1 Tafel. (Bd. 227.)

Photographie, Die, ihre wissenschaftlichen Grundlagen u. i. Anwendung. B. Dr. O. Breiinger. 2. Aufl. Mit Abb. (414.)
— **Die künstlerische Ph.** B. Dr. W. Warstat. Mit Bilderanh. (2 Tafeln). (410.)
— **Angewandte Liebhaber-Photographie,** ihre Technik und ihr Arbeitsfeld. Von Dr. W. Warstat. Mit Abb. (Bd. 535.)

Physik in Küche und Haus. Von Prof. Dr. O. Speitlamp. M. 51 Abb. (Bd. 478.)
— siehe auch Physik in Abt. V.

Postwesen, Das. Von Kaiserl. Oberpostrat O. Sieblist. 2. Aufl. (Bd. 182.)

Rechenmaschinen, Die, und das Maschinenrechnen. Von Reg.-Rat Dipl.-Ing. K. Lenz. Mit 43 Abb. (Bd. 490.)

Recht siehe Erbrecht, Gewerbl. Rechtsschutz, Kaufm. Angest., Urheberrecht, Verbrechen, Kriminalistik, Verfassungsrecht, Zivilprozeßrecht.

Rechtsprobleme, Moderne. B. Geh. Justizr. Prof. Dr. J. Kohler. 3. Aufl. (Bd. 128.)

Salzlagerstätten, Die deutschen. Ihr Vorkommen, ihre Entstehung und die Verwertung ihrer Produkte in Industrie und Landwirtschaft. Von Dr. E. Riemann. Mit 27 Abb. (Bd. 407.)
— siehe auch Geologie Abt. V.

Schiffbau siehe Kriegsschiffe.

Schmuck, Der, u. d. Schmucksteinindustr. B. Dr. A. Eppler. M. 64 Abb. (Bd. 376.)

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 5. Aufl. (Bd. 2.)
— s. a. Arbeiterschutz u. Arbeiterversicher.

Sozialismus. Gesch. der sozialist. Ideen i. 19. Jrh. B. Privatdoz. Dr. Fr. Muckle. 2. A. I: D. ration. Soz. II: Proudhon u. d. entwicklungsgeschichtl. Soz. (Bd. 269. 270.)